

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7440799号
(P7440799)

(45)発行日 令和6年2月29日(2024.2.29)

(24)登録日 令和6年2月20日(2024.2.20)

(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 U		
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 T		
C 2 1 D 9/46 (2006.01)	C 2 2 C 38/60			
C 2 3 C 2/06 (2006.01)	C 2 1 D 9/46	F		
C 2 3 C 2/40 (2006.01)	C 2 1 D 9/46	J		
請求項の数 5 (全36頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2022-530525(P2022-530525)	(73)特許権者	000006655
(86)(22)出願日	令和3年6月3日(2021.6.3)		日本製鉄株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/021249		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(87)国際公開番号	WO2021/251275	(74)代理人	100099759
(87)国際公開日	令和3年12月16日(2021.12.16)		弁理士 青木 篤
審査請求日	令和4年10月5日(2022.10.5)	(74)代理人	100123582
(31)優先権主張番号	特願2020-99296(P2020-99296)		弁理士 三橋 真二
(32)優先日	令和2年6月8日(2020.6.8)	(74)代理人	100187702
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 福地 律生
		(74)代理人	100162204
			弁理士 齋藤 学
		(74)代理人	100195213
			弁理士 木村 健治
		(72)発明者	竹田 健悟
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 鋼板及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、
C：0.20～0.40%、
Si：0.01～2.00%、
Mn：0.10%～4.00%、
P：0.0200%以下、
S：0.0200%以下、
Al：1.500%以下、
N：0.0200%以下、
Ti：0.005～0.500%、
Co：0～0.5000%、
Ni：0～1.0000%、
Mo：0～1.0000%、
Cr：0～2.0000%、
O：0～0.0200%、
B：0～0.0100%、
Nb：0～0.5000%、
V：0～0.5000%、
Cu：0～0.5000%、

W : 0 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 T a : 0 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 S n : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 S b : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 A s : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 M g : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 C a : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Y : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Z r : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 L a : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、及び
 C e : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %

10

を含有し、残部が F e 及び不純物からなる化学組成を有し、

表面から 1 ~ 1 0 μm の深さ領域において直径 0 . 1 μm 未満の析出物が 1 0 ~ 2 0 0 個 / μm^2 の数密度で存在しており、

表面から 1 0 ~ 6 0 μm の深さ領域における固溶 C 量が 0 . 2 0 質量 % 未満であり、
 引張強度が 1 2 0 0 M P a 以上である、鋼板。

【請求項 2】

前記化学組成が、質量 % で、

C o : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 N i : 0 . 0 0 0 1 ~ 1 . 0 0 0 0 %、
 M o : 0 . 0 0 0 1 ~ 1 . 0 0 0 0 %、
 C r : 0 . 0 0 0 1 ~ 2 . 0 0 0 0 %、
 O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 0 0 %、
 B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 0 %、
 N b : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 V : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 C u : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 W : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 T a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 S n : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 S b : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 A s : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 C a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Y : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Z r : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 L a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、及び
 C e : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %

20

30

からなる群より選択される 1 種又は 2 種以上を含有する、請求項 1 に記載の鋼板。

【請求項 3】

40

前記鋼板の少なくとも一方の表面に、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、それらの任意の組み合わせからなる合金、又はそれらの元素の少なくとも 1 種と鉄との合金を含有するめっき層が形成された、請求項 1 又は 2 に記載の鋼板。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の鋼板の製造方法であって、

請求項 1 又は 2 に記載の化学組成を有する鋼片を熱間圧延し、次いで 5 8 0 以下で巻き取る工程、

得られた熱延鋼板を酸洗して前記熱延鋼板の表面上に存在する酸化スケールを除去するとともに前記熱延鋼板の表層を少なくとも 5 μm 除去する工程、及び

前記熱延鋼板を冷間圧延し、次いで焼鈍する工程であって、前記焼鈍は、得られた冷延

50

鋼板を露点が $-20 \sim -20$ の雰囲気中 $200 \sim 400$ の温度域で $20 \sim 180$ 秒間保持し、次いで露点が $-20 \sim -20$ の雰囲気中 $740 \sim 900$ の温度域で $45 \sim 300$ 秒間保持することを含む工程を含む、鋼板の製造方法。

【請求項 5】

前記焼鈍において、前記冷延鋼板の少なくとも一方の表面に、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、それらの任意の組み合わせからなる合金、又はそれらの元素の少なくとも 1 種と鉄との合金を含有するめっき層が形成される、請求項 4 に記載の鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、高強度でかつ溶接性に優れる鋼板及びその製造方法に関するものである。

【0002】

スポット溶接機により亜鉛めっき鋼板を溶接する際、熔融した亜鉛によって鋼板に割れが生じることがある。この割れは LME 割れ（液体金属脆化割れ）と呼ばれ、鋼の粒界に沿って熔融した亜鉛が鋼板の内側に侵入することで生じる。

【0003】

これまで、DP 鋼（複合組織鋼）や高強度鋼板に関する数多くの発明が開示されたものの、その中でスポット溶接 LME 割れの抑制に関する技術の開示例は少ない。（例えば、特許文献 1～3、参照）

20

【0004】

特許文献 1 では、表面層と、前記表面層の下層に配置される、窒素元素の濃度が $0.2 \sim 1.0$ 質量％である第 1 のマルテンサイト層とを備え、前記表面層は、リチウム鉄複合酸化物、 FeO 、及び Fe_3O_4 の少なくともいずれかを主成分とし、かつ、固溶ケイ素、ケイ素酸化物、及びケイ素窒化物からなる群より選択される少なくとも一種を含有し、前記第 1 のマルテンサイト層は、面積率 30% 以下の γ 相、及び面積率 10% 以下の ε 相を含有する鉄鋼部材が開示されている。特許文献 1 では、高周波加熱焼き入れによる高強度化に有益な技術に開示範囲が限られており、溶接性を改善する技術は示されていない。

【0005】

特許文献 2 では、質量％で、 $\text{C} : 0.05 \sim 0.25\%$ 、 $\text{Si} : 1.0\%$ 以下、 $\text{Mn} : 2.0 \sim 4.0\%$ 、 $\text{P} : 0.100\%$ 以下、 $\text{S} : 0.02\%$ 以下、 $\text{Al} : 1.0\%$ 以下、 $\text{N} : 0.001 \sim 0.015\%$ 、且つ $\text{Ti} : 0.003 \sim 0.030\%$ 、 $\text{Nb} : 0.010 \sim 0.050\%$ 、 $\text{Mo} : 0.005 \sim 0.100\%$ から選ばれる 1 種以上を含有し、残部が Fe および不可避免の不純物からなる成分組成を有するスラブに熱間圧延を施すにあたり、仕上げ圧延では、最終パスから数えて 2 番目のパスから最終パスまでの温度を $800 \sim 950$ 、最終パスから数えて 2 番目のパスから最終パスまでの累計圧下率を $10 \sim 40\%$ 、最終パスの圧下率を $8 \sim 25\%$ とし、仕上げ圧延終了後 $0.5 \sim 3.0 \text{ s}$ で冷却を開始し、 $600 \sim 720$ の温度域を $30 / \text{s}$ 以上の平均冷却速度で冷却し、 590 以下で巻取ることとする熱延鋼板の製造方法が開示されている。しかしながら、特許文献 2 では LME を抑制する技術は開示されていない。

30

40

【0006】

特許文献 3 では、質量％で、 $\text{C} : 0.075\% \sim 0.350\%$ 、 $\text{Si} : 0.30\% \sim 2.50\%$ 、 $\text{Mn} : 1.20\% \sim 3.50\%$ 、 $\text{P} : 0.001\% \sim 0.100\%$ 、 $\text{S} : 0.0001\% \sim 0.0100\%$ 、 $\text{Al} : 0.005\% \sim 2.500\%$ 、及び $\text{N} : 0.0001\% \sim 0.0100\%$ 、を含有し、残部が鉄及び不可避免の不純物からなり、粒子径が 20 nm 以上の Si 及び / 又は Mn を含む酸化物粒子が $2.5 \mu\text{m}$ 以下の平均粒子間距離で分散した領域が表面から $0.3 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$ の平均深さの範囲に存在し、その領域における該酸化物粒子の平均粒子径が $0.3 \mu\text{m}$ 以下であり、その領域との界面からの深さが $30 \mu\text{m}$ の箇所における平均硬さが $\text{HV} 250$ 以上であることを特徴とする高強度鋼板が開示されている。しかしながら、特許文献 3 では LME を抑制する技術は開示されていない。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2019-35111号公報

【文献】特開2018-90894号公報

【文献】特開2013-60630号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上記実情に鑑み、高強度でかつ溶接性に優れる鋼板及びその製造方法を提供することを課題とするものである。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、上記課題を解決する手法について鋭意研究し、LME割れの発生には“歪”の影響が大きいことを明らかにした。例えば、同じ通電サイクル（熱履歴）であっても、鋼板の塑性変形量を大きくするようにスポット溶接を行うと、LME割れが顕著に起こる。LME割れが“歪”の増加に伴って生じやすくなる理由は、前述した「鋼板内部への溶融亜鉛の侵入」が起こりやすくなるため、と考えられる。したがって、鋼板表層における歪の増加を防ぐことで、スポット溶接LME割れの発生を抑えることが可能となる。本発明者らは、鋼板表層の歪増加を防ぐために、板厚方向に強度差を与える方法を見出した。具体的には、最表層（第1の深さ領域）を析出強化により硬く制御し、硬い最表層の板厚内側に炭素濃度を低減させた軟らかい層（第2の深さ領域）を与え、そして、更に板厚内部側には、この軟らかい層よりも硬い層（第3の深さ領域）を設ける。このように、板厚表層から板厚中心層に向かって特性が傾斜した3層の構造にすることにより、変形を受けた時に軟らかい層（第2の深さ領域）が歪を担うようになり、最表層（第1の深さ領域）における歪の過度な増加を抑えることが可能となる。

20

【0010】

また、本発明者らは、上記のような板厚方向に適切な強度差を有する層構造の鋼板は、単に熱延条件や焼鈍条件などを単一にて工夫しても製造困難であり、熱延・焼鈍工程などのいわゆる一貫工程にて最適化を達成することでしか製造できないことも、種々の研究を積み重ねることで知見し、本発明を完成した。

30

【0011】

本発明の要旨は、次の通りである。

【0012】

(1) 質量%で、

C: 0.20 ~ 0.40 %、

Si: 0.01 ~ 2.00 %、

Mn: 0.10 % ~ 4.00 %、

P: 0.0200 % 以下、

S: 0.0200 % 以下、

40

Al: 1.500 % 以下、

N: 0.0200 % 以下、

Ti: 0.005 ~ 0.500 %、

Co: 0 ~ 0.5000 %、

Ni: 0 ~ 1.0000 %、

Mo: 0 ~ 1.0000 %、

Cr: 0 ~ 2.0000 %、

O: 0 ~ 0.0200 %、

B: 0 ~ 0.0100 %、

Nb: 0 ~ 0.5000 %、

50

V : 0 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 C u : 0 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 W : 0 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 T a : 0 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 S n : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 S b : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 A s : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 M g : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 C a : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Y : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Z r : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 L a : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、及び
 C e : 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %

10

を含有し、残部が F e 及び不純物からなる化学組成を有し、

表面から 1 ~ 1 0 μm の深さ領域において直径 0 . 1 μm 未満の析出物が 1 0 ~ 2 0 0 個 / μm^2 の数密度で存在しており、

表面から 1 0 ~ 6 0 μm の深さ領域における固溶 C 量が 0 . 2 0 質量 % 未満であり、引張強度が 1 2 0 0 M P a 以上である、鋼板。

(2) 前記化学組成が、質量 % で、

C o : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 N i : 0 . 0 0 0 1 ~ 1 . 0 0 0 0 %、
 M o : 0 . 0 0 0 1 ~ 1 . 0 0 0 0 %、
 C r : 0 . 0 0 0 1 ~ 2 . 0 0 0 0 %、
 O : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 0 0 %、
 B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 0 %、
 N b : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 V : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 C u : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 0 %、
 W : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 T a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 0 %、
 S n : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 S b : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 A s : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 C a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Y : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 Z r : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
 L a : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %、及び
 C e : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 0 %

20

からなる群より選択される 1 種又は 2 種以上を含有する、上記 (1) に記載の鋼板。

40

(3) 前記鋼板の少なくとも一方の表面に、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、それらの任意の組み合わせからなる合金、又はそれらの元素の少なくとも 1 種と鉄との合金を含有するめっき層が形成された、上記 (1) 又は (2) に記載の鋼板。

(4) 上記 (1) 又は (2) に記載の化学組成を有する鋼片を熱間圧延し、次いで 5 8 0 以下で巻き取る工程、

得られた熱延鋼板を酸洗して前記熱延鋼板の表面上に存在する酸化スケールを除去するとともに前記熱延鋼板の表層を少なくとも 5 μm 除去する工程、及び

前記熱延鋼板を冷間圧延し、次いで焼鈍する工程であって、前記焼鈍は、得られた冷延鋼板を露点が - 2 0 ~ 2 0 の雰囲気中 2 0 0 ~ 4 0 0 の温度域で 2 0 ~ 1 8 0 秒間保持し、次いで露点が - 2 0 ~ 2 0 の雰囲気中 7 4 0 ~ 9 0 0 の温度域で 4 5 ~ 3 0 0

50

秒間保持することを含む工程を含む、鋼板の製造方法。

(5) 前記焼鈍において、前記冷延鋼板の少なくとも一方の表面に、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、それらの任意の組み合わせからなる合金、又はそれらの元素の少なくとも1種と鉄との合金を含有するめっき層が形成される、上記(4)に記載の鋼板の製造方法。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、高強度でかつ溶接性に優れる鋼板及びその製造方法を提供できる。

【発明を実施するための形態】

10

【0014】

以下、本発明の実施形態について説明する。なお、これらの説明は、本発明の実施形態の単なる例示を意図するものであって、本発明は以下の実施形態に限定されない。

【0015】

< 鋼板 >

本発明の実施形態に係る鋼板は、質量%で、

C : 0.20 ~ 0.40 %、

Si : 0.01 ~ 2.00 %、

Mn : 0.10 % ~ 4.00 %、

P : 0.0200 % 以下、

20

S : 0.0200 % 以下、

Al : 1.500 % 以下、

N : 0.0200 % 以下、

Ti : 0.005 ~ 0.500 %、

Co : 0 ~ 0.5000 %、

Ni : 0 ~ 1.0000 %、

Mo : 0 ~ 1.0000 %、

Cr : 0 ~ 2.0000 %、

O : 0 ~ 0.0200 %、

B : 0 ~ 0.0100 %、

30

Nb : 0 ~ 0.5000 %、

V : 0 ~ 0.5000 %、

Cu : 0 ~ 0.5000 %、

W : 0 ~ 0.1000 %、

Ta : 0 ~ 0.1000 %、

Sn : 0 ~ 0.0500 %、

Sb : 0 ~ 0.0500 %、

As : 0 ~ 0.0500 %、

Mg : 0 ~ 0.0500 %、

Ca : 0 ~ 0.0500 %、

40

Y : 0 ~ 0.0500 %、

Zr : 0 ~ 0.0500 %、

La : 0 ~ 0.0500 %、及び

Ce : 0 ~ 0.0500 %

を含有し、残部がFe及び不純物からなる化学組成を有し、

表面から1 ~ 10 μm の深さ領域において直径0.1 μm 未満の析出物が10 ~ 200個/ μm^2 の数密度で存在しており、

表面から10 ~ 60 μm の深さ領域における固溶C量が0.20質量%未満であり、

引張強度が1200 MPa以上であることを特徴としている。

【0016】

50

まず、本発明の実施形態に係る鋼板の化学組成を限定した理由について説明する。ここで成分についての「%」は質量%を意味する。さらに、本明細書において、数値範囲を示す「～」とは、特に断りがない場合、その前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む意味で使用される。

【0017】

(C: 0.20 ~ 0.40%)

Cは、安価に引張強度を増加させる元素であり、鋼の強度を制御するために極めて重要な元素である。このような効果を十分に得るために、C含有量は0.20%以上とする。C含有量は0.22%以上、0.25%以上又は0.28%以上であってもよい。一方で、Cを過度に含有すると、伸びの低下とともに、LMEの発生を促す場合がある。このため、C含有量は0.40%以下とする。C含有量は0.38%以下、0.36%以下又は0.34%以下であってもよい。

10

【0018】

(Si: 0.01 ~ 2.00%)

Siは、脱酸剤として作用し、冷延板焼鈍中の冷却過程における炭化物の析出を抑制する元素である。このような効果を十分に得るために、Si含有量は0.01%以上とする。Si含有量は0.10%以上、0.30%以上又は0.80%以上であってもよい。一方で、Siを過度に含有すると、鋼強度の増加とともに伸びの低下を招き、更にスポット溶接時にLMEによる鋼板の割れを招く場合がある。このため、Si含有量は2.00%以下とする。Si含有量は1.80%以下、1.50%以下又は1.20%以下であってもよい。

20

【0019】

(Mn: 0.10 ~ 4.00%)

Mnは、鋼のフェライト変態に影響を与える因子であり、強度上昇に有効な元素である。このような効果を十分に得るために、Mn含有量は0.10%以上とする。Mn含有量は0.50%以上、1.00%以上又は1.50%以上であってもよい。一方で、Mnを過度に含有すると、鋼強度の増加とともに伸びの低下を招き、更にスポット溶接時にLMEによる鋼板の割れを招く場合がある。このため、Mn含有量は4.00%以下とする。Mn含有量は3.30%以下、3.00%以下又は2.70%以下であってもよい。

【0020】

(P: 0.0200%以下)

Pは、フェライト粒界に強く偏析し粒界の脆化を促す元素である。P含有量は少ないほど好ましいため、理想的には0%である。しかしながら、P含有量の過度な低減はコストの大幅な増加を招くため、P含有量は0.0001%以上としてもよく、0.0010%以上又は0.0050%以上であってもよい。一方で、Pを過度に含有すると、鋼の脆化を招き、更にスポット溶接時にLMEによる鋼板の割れを招く場合がある。このため、P含有量は0.0200%以下とする。P含有量は0.0180%以下、0.0150%以下又は0.0100%以下であってもよい。

30

【0021】

(S: 0.0200%以下)

Sは、鋼中でMnS等の非金属介在物を生成し、鋼材部品の延性の低下を招く元素である。S含有量は少ないほど好ましいため、理想的には0%である。しかしながら、S含有量の過度な低減はコストの大幅な増加を招くため、S含有量は0.0001%以上としてもよく、0.0002%以上、0.0010%以上又は0.0050%以上であってもよい。一方で、Sを過度に含有すると、冷間成形時に非金属介在物を起点とした割れの発生を招くとともに、スポット溶接時にLMEによる鋼板の割れを招く場合がある。このため、S含有量は0.0200%以下とする。S含有量は0.0180%以下、0.0150%以下又は0.0100%以下であってもよい。

40

【0022】

(Al: 1.500%以下)

50

A 1 は、鋼の脱酸剤として作用しフェライトを安定化する元素であり、必要に応じて含有されてもよい。A 1 は含有されていなくてもよい。A 1 含有量の下限は 0 % である。その効果を十分に得るためには、A 1 含有量は 0 . 0 0 1 % 以上とすることが好ましく、0 . 0 1 0 % 以上、0 . 0 5 0 % 以上又は 0 . 1 0 0 % 以上であってもよい。一方で、A 1 を過度に含有すると、冷延板焼鈍において冷却過程でのフェライト変態及びベイナイト変態が過度に促進するため鋼板の強度が低下する場合がある。このため、A 1 含有量は 1 . 5 0 0 % 以下とする。A 1 含有量は 1 . 4 0 0 % 以下、1 . 2 0 0 % 以下又は 1 . 0 0 0 % 以下であってもよい。

【 0 0 2 3 】

(N : 0 . 0 2 0 0 % 以下)

N は、鋼板中で粗大な窒化物を形成し、鋼板の加工性を低下させる元素である。また、N は、溶接時のブローホールの発生原因となる元素である。N 含有量は少ないほど好ましいため、理想的には 0 % である。しかしながら、N 含有量の過度な低減は製造コストの大幅な増加を招くため、N 含有量は 0 . 0 0 0 1 % 以上としてもよく、0 . 0 0 0 5 % 以上、0 . 0 0 1 0 % 以上又は 0 . 0 0 5 0 % 以上であってもよい。一方で、N を過度に含有すると、T i と結合して多量の T i N を生成させるため、鋼板中の固溶 T i 量が少なくなり、鋼板表層における析出物（例えば T i 酸化物）の生成を制御できなくなる場合がある。このため、N 含有量は 0 . 0 2 0 0 % 以下とする。N 含有量は 0 . 0 1 5 0 % 以下、0 . 0 1 0 0 % 以下又は 0 . 0 0 8 0 % 以下であってもよい。

【 0 0 2 4 】

(T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %)

T i は、冷延板焼鈍における加熱及び均熱の工程において、焼鈍雰囲気から鋼の表層に侵入する酸素と結びついて鋼板表層に微細な析出物（例えば T i 酸化物）を形成するのに必要な元素である。このような析出物を十分に形成させるために、T i 含有量は 0 . 0 0 5 % 以上とする。T i 含有量は 0 . 0 1 0 % 以上、0 . 0 5 0 % 以上、0 . 1 0 0 % 以上又は 0 . 1 5 0 % 以上であってもよい。一方で、T i を過度に含有すると、過剰な析出物の形成を引き起こしたり、冷延板焼鈍中の冷却過程においてフェライト変態を促進して強度の低下を引き起こしたりする場合がある。このため、T i 含有量は 0 . 5 0 0 % 以下とする。T i 含有量は 0 . 4 5 0 % 以下、0 . 4 0 0 % 以下、0 . 3 5 0 % 以下又は 0 . 3 0 0 % 以下であってもよい。

【 0 0 2 5 】

本実施形態における鋼板の基本化学組成は上記のとおりである。さらに、本実施形態における鋼板は、必要に応じて、残部の F e の一部に代えて、以下の任意選択元素のうち少なくとも一種を含んでもよい。これらの元素は含まれてもよい。その下限は 0 % である。

【 0 0 2 6 】

(C o : 0 ~ 0 . 5 0 0 0 %)

C o は、炭化物の形態制御と強度の増加に有効な元素であり、固溶炭素の制御のために必要に応じて含有されてもよい。これらの効果を十分に得るためには、C o 含有量は 0 . 0 0 0 1 % 以上であることが好ましい。C o 含有量は 0 . 0 0 1 0 % 以上、0 . 0 1 0 0 % 以上又は 0 . 0 4 0 0 % 以上であってもよい。一方で、C o を過度に含有すると、微細な C o 炭化物が多数析出し、鋼材の過度な強度上昇及び / 又は延性の低下を招く場合がある。このため、C o 含有量は 0 . 5 0 0 0 % 以下であることが好ましい。C o 含有量は 0 . 4 0 0 0 % 以下、0 . 3 0 0 0 % 以下又は 0 . 2 0 0 0 % 以下であってもよい。

【 0 0 2 7 】

(N i : 0 ~ 1 . 0 0 0 0 %)

N i は、強化元素であるとともに焼入れ性の向上に有効である。加えて、濡れ性の向上や合金化反応の促進をもたらすことから必要に応じて含有されてもよい。これらの効果を十分に得るためには、N i 含有量は 0 . 0 0 0 1 % 以上であることが好ましい。N i 含有量は 0 . 0 0 1 0 % 以上、0 . 0 1 0 0 % 以上又は 0 . 0 5 0 0 % 以上であってもよい。

10

20

30

40

50

一方で、Niを過度に含有すると、製造時及び熱延時の製造性に悪影響を及ぼしたり、伸びの低下を引き起こしたりする場合がある。このため、Ni含有量は1.0000%以下であることが好ましい。Ni含有量は0.9000%以下、0.5000%以下又は0.200%以下であってもよい。

【0028】

(Mo: 0 ~ 1.0000%)

Moは、鋼板の強度の向上に有効な元素である。また、Moは、連続焼鈍設備又は連続溶融亜鉛めっき設備での熱処理時に生じるフェライト変態を抑制する効果を有する元素である。これらの効果を十分に得るためには、Mo含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Mo含有量は0.0010%以上、0.0100%以上又は0.0500%以上であってもよい。一方で、Moを過度に含有すると、微細なMo炭化物が多数析出し、鋼材の過度な強度上昇及び/又は延性の低下を招く場合がある。このため、Mo含有量は1.0000%以下であることが好ましい。Mo含有量は0.9000%以下、0.8000%以下又は0.700%以下であってもよい。

10

【0029】

(Cr: 0 ~ 2.0000%)

Crは、Mnと同様にパーライト変態を抑え、鋼の高強度化に有効な元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、Cr含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Cr含有量は0.0010%以上、0.0100%以上又は0.0500%以上であってもよい。一方で、Crを過度に含有すると、鋼材の過度な強度上昇及び/又は延性の低下を招く場合がある。このため、Cr含有量は2.0000%以下であることが好ましい。Cr含有量は1.7000%以下、1.5000%以下又は1.000%以下であってもよい。

20

【0030】

(O: 0 ~ 0.0200%)

Oは、酸化物を形成し、加工性を劣化させることから、含有量を抑える必要がある。特に、酸化物は介在物として存在する場合が多く、打抜き端面、あるいは、切断面に存在すると、端面に切り欠き状の傷や粗大なディンプルを形成することから、張出成形時や強加工時に、応力集中を招き、亀裂形成の起点となり大幅な加工性の劣化をもたらす。このため、O含有量は0%であってもよいが、過度の低減は大幅なコスト高を招き経済的に好ましくない。このため、O含有量は0.0001%以上であることが好ましい。O含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0015%以上であってもよい。一方で、Oを過度に含有すると、上記の傾向が顕著となることに加え、過剰な析出物の形成を引き起こす場合がある。このため、O含有量は0.0200%以下であることが好ましい。O含有量は0.0150%以下、0.0100%以下又は0.0050%以下であってもよい。

30

【0031】

(B: 0 ~ 0.0100%)

Bは、オーステナイトからの冷却過程においてフェライト及びパーライトの生成を抑え、ベイナイト又はマルテンサイト等の低温変態組織の生成を促す元素である。また、Bは、鋼の高強度化に有益な元素であり、必要に応じて含有されてもよい。しかしながら、B含有量が低すぎると、高強度化等の向上効果が十分には得られない場合がある。更に、0.0001%未満の同定には分析に細心の注意を払う必要があるとともに、分析装置によっては検出下限に至る。このため、B含有量は0.0001%以上であることが好ましい。B含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0015%以上であってもよい。一方で、Bを過度に含有すると、鋼中に粗大なB酸化物の生成を招き、冷間成形時のボイドの発生起点となり、穴広げ性等の冷間加工性が劣化する場合がある。このため、B含有量は0.0100%以下であることが好ましい。B含有量は0.0080%以下、0.0060%以下又は0.0040%以下であってもよい。

40

【0032】

50

(Nb: 0 ~ 0.5000%)

Nbは、炭化物の形態制御に有効な元素であり、その添加により組織を微細化するため靱性の向上にも効果的な元素である。これらの効果を十分に得るためには、Nb含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Nb含有量は0.0010%以上、0.0100%以上又は0.0200%以上であってもよい。一方で、Nbを過度に含有すると、微細で硬質なNb炭化物が多数析出し、延性の顕著な劣化を招き、冷間加工性を低下させる場合がある。このため、Nb含有量は0.5000%以下であることが好ましい。Nb含有量は0.4000%以下、0.2000%以下又は0.1000%以下であってもよい。

【0033】

(V: 0 ~ 0.5000%)

Vは、強化元素であり、析出物強化、フェライト結晶粒の成長抑制による細粒強化及び再結晶の抑制を通じた転位強化にて、鋼板の強度上昇に寄与する。このような効果を十分に得るためには、V含有量は0.0001%以上であることが好ましい。V含有量は0.0010%以上、0.0100%以上又は0.0200%以上であってもよい。一方で、Vを過度に含有すると、炭窒化物の析出が多くなり穴広げ性等の成形性が劣化する場合がある。このため、V含有量は0.5000%以下であることが好ましい。V含有量は0.4000%以下、0.2000%以下又は0.1000%以下であってもよい。

【0034】

(Cu: 0 ~ 0.5000%)

Cuは、鋼板の強度の向上に有効な元素である。このような効果を十分に得るためには、Cu含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Cu含有量は0.0010%以上、0.0100%以上又は0.0200%以上であってもよい。一方で、Cuを過度に含有すると、熱間圧延中に鋼材が脆化し、熱間圧延が不可能となる場合がある。更に、鋼の強度が著しく高まり、穴広げ性等の冷間加工性が劣化する場合がある。このため、Cu含有量は0.5000%以下であることが好ましい。Cu含有量は0.4000%以下、0.2000%以下又は0.1000%以下であってもよい。

【0035】

(W: 0 ~ 0.1000%)

Wは、鋼板の強度上昇に有効である上、Wを含有する析出物及び晶出物は水素トラップサイトとなるため非常に重要な元素である。これらの効果を十分に得るためには、W含有量は0.0001%以上であることが好ましい。W含有量は0.0010%以上、0.0050%以上又は0.0100%以上であってもよい。一方で、Wを過度に含有すると、冷間加工性が低下する場合がある。このため、W含有量は0.1000%以下であることが好ましい。W含有量は0.0800%以下、0.0600%以下又は0.0400%以下であってもよい。

【0036】

(Ta: 0 ~ 0.1000%)

Taは、Coと同様に、炭化物の形態制御と強度の増加に有効な元素であり、必要に応じて含有されてもよい。これらの効果を十分に得るためには、Ta含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Ta含有量は0.0010%以上、0.0050%以上又は0.0100%以上であってもよい。一方で、Taを過度に含有すると、微細なTa炭化物が多数析出し、鋼板の強度上昇と延性の低下を招き、穴広げ性等の冷間加工性を低下させる場合がある。このため、Ta含有量は0.1000%以下であることが好ましい。Ta含有量は0.0800%以下、0.0600%以下又は0.0400%以下であってもよい。

【0037】

(Sn: 0 ~ 0.0500%)

Snは、原料としてスクラップを用いた場合に鋼中に含有される元素であり、少ないほど好ましい。したがって、Sn含有量は0%であってもよいが、過度の低減は精錬コスト

10

20

30

40

50

の増加を招く。このため、S n含有量は0.0001%以上であることが好ましい。S n含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、S nを過度に含有すると、フェライトの脆化による穴広げ性等の冷間加工性の低下を引き起こす場合がある。このため、S n含有量は0.0500%以下であることが好ましい。S n含有量は0.0400%以下、0.0200%以下又は0.0100%以下であってもよい。

【0038】

(S b: 0 ~ 0.0500%)

S bは、S nと同様に鋼原料としてスクラップを用いた場合に含有される元素である。S bは、粒界に強く偏析し粒界の脆化及び延性の低下を招くため、少ないほど好ましく、0%であってもよい。しかしながら、過度の低減は精錬コストの増加を招く。このため、S b含有量は0.0001%以上であることが好ましい。S b含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、S bを過度に含有すると、穴広げ性等の冷間加工性の低下を引き起こす場合がある。このため、S b含有量は0.0500%以下であることが好ましい。S b含有量は0.0400%以下、0.0200%以下又は0.0100%以下であってもよい。

10

【0039】

(A s: 0 ~ 0.0500%)

A sは、S n及びS bと同様に鋼原料としてスクラップを用いた場合に含有され、粒界に強く偏析する元素であり、少ないほど好ましい。したがって、A s含有量は0%であってもよいが、過度の低減は精錬コストの増加を招く。このため、A s含有量は0.0001%以上であることが好ましい。A s含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、A sを過度に含有すると、冷間加工性の低下を招く場合がある。このため、A s含有量は0.0500%以下であることが好ましい。A s含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

20

【0040】

(M g: 0 ~ 0.0500%)

M gは、微量添加で硫化物の形態を制御できる元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、M g含有量は0.0001%以上であることが好ましい。M g含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、M gを過度に含有すると、粗大な介在物の形成による穴広げ性等の冷間加工性の低下を引き起こす場合がある。このため、M g含有量は0.0500%以下であることが好ましい。M g含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

30

【0041】

(C a: 0 ~ 0.0500%)

C aは、脱酸元素として有用であるほか、硫化物の形態制御にも効果を奏する。これらの効果を十分に得るためには、C a含有量は0.0001%以上であることが好ましい。C a含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、C aを過度に含有すると、穴広げ性等の冷間加工性が劣化する場合がある。このため、C a含有量は0.0500%以下であることが好ましい。C a含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

40

【0042】

(Y: 0 ~ 0.0500%)

Yは、M g及びC aと同様に微量添加で硫化物の形態を制御できる元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、Y含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Y含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、Yを過度に含有すると、粗大なY酸化物が生成し、穴広げ性等の冷間加工性は低下する場合がある。このため、Y含有量は0.0

50

500%以下であることが好ましい。Y含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

【0043】

(Zr: 0~0.0500%)

Zrは、Mg、Ca及びYと同様に微量添加で硫化物の形態を制御できる元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、Zr含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Zr含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、Zrを過度に含有すると、粗大なZr酸化物が生成し、穴広げ性等の冷間加工性は低下する場合がある。このため、Zr含有量は0.0500%以下であることが好ましい。Zr含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

10

【0044】

(La: 0~0.0500%)

Laは、微量添加で硫化物の形態制御に有効な元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、La含有量は0.0001%以上であることが好ましい。La含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、Laを過度に含有すると、La酸化物が生成し、穴広げ性等の冷間加工性の低下を招く場合がある。このため、La含有量は0.0500%以下であることが好ましい。La含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

20

【0045】

(Ce: 0~0.0500%)

Ceは、Laと同様に微量添加で硫化物の形態を制御できる元素であり、必要に応じて含有されてもよい。このような効果を十分に得るためには、Ce含有量は0.0001%以上であることが好ましい。Ce含有量は0.0005%以上、0.0010%以上又は0.0020%以上であってもよい。一方で、Ceを過度に含有すると、Ce酸化物が生成し、穴広げ性等の冷間加工性の低下を招く場合がある。このため、Ce含有量は0.0500%以下であることが好ましい。Ce含有量は0.0400%以下、0.0300%以下又は0.0200%以下であってもよい。

【0046】

なお、本実施形態における鋼板では、上記に述べた成分の残部はFe及び不純物である。不純物とは、本実施形態に係る鋼板を工業的に製造する際に、鉱石やスクラップ等のような原料を始めとして、製造工程の種々の要因によって混入する成分等である。

30

【0047】

続いて、本発明の実施形態に係る鋼板の組織及び特性の特徴を述べる。

【0048】

(鋼板表面から1~10 μ mの第1の深さ領域における直径0.1 μ m未満の析出物の数密度が10~200個/ μ m²)

本実施形態における鋼板は、鋼板表面から1~10 μ mの第1の深さ領域において直径0.1 μ m未満の析出物を10~200個/ μ m²の数密度で存在させる。このように微細な析出物が多数存在することにより、第1の深さ領域の鋼板組織が微細化し、その結果、鋼板の第1の深さ領域における強度及び硬さは、後述する第2の深さ領域の強度及び硬さよりも高くなる。このため、スポット溶接時に高温まで加熱された段階での第1の深さ領域における鋼板の変形抵抗を増加させることができる。したがって、スポット溶接時に電極を鋼板に押し付けて通電させ、高温保持中に荷重を加える際、鋼板の表層領域(第1の深さ領域)における塑性ひずみの増加を抑えることができる。当該析出物の数密度が低いと、溶接時の変形抵抗を高めることができず、LME割れを抑制することは難しくなる。このため、第1の深さ領域における直径0.1 μ m未満の析出物の数密度下限値を10個/ μ m²以上とし、15個/ μ m²以上又は30個/ μ m²以上であってもよい。一方で、当該析出物の数密度が多すぎると、高密度に酸化物が存在することにより、鋼板表面の電

40

50

気抵抗が増加し、鋼板表層における発熱量が高くなる。このため、溶接性の低下が引き起こされる場合がある。このため、第1の深さ領域における直径 $0.1\mu\text{m}$ 未満の析出物の数密度上限値を $200\text{個}/\mu\text{m}^2$ 以下とし、 $150\text{個}/\mu\text{m}^2$ 以下又は $120/\mu\text{m}^2$ 以下であってもよい。上記の析出物は、任意の析出物であってよく特に限定されないが、例えばTi析出物、W析出物を含み、より具体的にはTi酸化物、Ti炭化物を含む。本発明における析出物とは、例えば酸化物や炭化物の粒子であり、 TiO 、 TiO_2 、 Ti_2O_3 、 Ti_3O_5 、 TiC である。

【0049】

(鋼板表面から $10\sim60\mu\text{m}$ の第2の深さ領域における固溶C量が 0.20 質量%未満)

一般的に、固溶C量は鋼の強度に影響を与え、固溶C量が多いほど変形抵抗が増加する。一方で固溶C量が少ないほど鋼の強度が低下し、すなわち鋼が比較的軟らかくなる。先に述べたとおり、スポット溶接時にLME割れが発生するのを抑えるためには、鋼板表層における歪の増加を防ぐことが重要である。したがって、本発明の実施形態に係る鋼板では、鋼板表面から $10\sim60\mu\text{m}$ の第2の深さ領域における固溶C量を鋼板全体のC含有量と比較して少なくすることで、当該深さ領域の強度を低下させる。このため第2の深さ領域の強度は第1の深さ領域よりも低くなる。その結果として第2の深さ領域が、スポット溶接時の熱間変形により鋼板に導入される歪を、第1の深さ領域よりも多く吸収することが可能となり、LME割れを抑えることが可能となる。第2の深さ領域における固溶C量が 0.20 質量%又はそれよりも多いと、第2の深さ領域における鋼の強度が増す。このため、第1の深さ領域に生じる歪の増加を第2の深さ領域が十分に抑制することができず、LME割れを抑えることが難しくなる。このため、上記深さ領域における固溶C量は 0.20 質量%未満とし、好ましくは 0.15 質量%以下、より好ましくは 0.10 質量%以下である。固溶C量の下限值は、特に限定されず 0 質量%であってもよいが、一般的には 0.01 質量%であり、 0.02 質量%又は 0.03 質量%であってもよい。

【0050】

本発明の実施形態に係る鋼板においては、鋼板表面から $10\sim60\mu\text{m}$ の第2の深さ領域よりも内部(鋼板の深さ方向中心)側では、平均炭素濃度が母材の炭素濃度とほぼ同じか又は完全に同じとなる。このため、鋼板表面から $10\sim60\mu\text{m}$ の第2の深さ領域と比較して、より硬い層が鋼板表面から $60\mu\text{m}$ 以上深い領域に存在することになる。より具体的には、鋼板表面から $60\mu\text{m}\sim$ 板厚 $1/4$ の深さ領域(以下、第3の深さ領域とする)における固溶C量は、鋼板表面から $10\sim60\mu\text{m}$ の第2の深さ領域における固溶C量よりも高い。第3の深さ領域における固溶C量は、第2の深さ領域における硬さに対して第3の深さ領域における硬さが十分に高くなる効果を得る目的では、例えば、第2の深さ領域における固溶C量の 1.10 倍以上、 1.15 倍以上若しくは 1.20 倍以上であってもよく、及び/又は 0.40 質量%以下、 0.38 質量%以下、 0.36 質量%以下若しくは 0.34 質量%以下であってもよい。

【0051】

(めっき層)

本発明の実施形態に係る鋼板は、耐食性の向上等を目的として、少なくとも一方の表面、好ましくは両方の表面にめっき層を含んでいてもよい。当該めっき層は、当業者に公知の任意の組成を有するめっき層であってよく、特に限定されないが、例えば、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、又はそれらの任意の組み合わせからなる合金を含んでいてもよい。また、めっき層は、合金化処理を施していてもよいし又は合金化処理を施してなくてもよい。合金化処理を施した場合には、めっき層は、上記元素の少なくとも1種と鋼板から拡散してきた鉄との合金を含有していてもよい。また、めっき層の付着量は、特に制限されず一般的な付着量であってよい。

【0052】

(引張強度:TS)

鋼を素材として用いる構造体の軽量化及び塑性変形における構造体の抵抗力の向上のためには、鋼素材が大きな加工硬化能をもち最大強度を示すことが好ましく、具体的には1

10

20

30

40

50

200 MPa以上の引張強度を持つことが好ましい。引張強度が低いと、鋼を素材とする構造体の軽量化及び変形抵抗の向上に対する効果が小さくなる。このため、鋼板の引張強度は1200 MPa以上とし、1280 MPa以上、1400 MPa以上又は1500 MPa以上であってもよい。一方で、引張強度が高すぎると、塑性変形中に材料が脆性破壊を起こしやすくなり、成形性が低下する。このため、鋼板の引張強度は一般的には2300 MPa以下であり、2100 MPa以下、2000 MPa以下又は1900 MPa以下であってもよい。引張強度は、試験片の長手方向が鋼板の圧延直角方向と平行になる向きからJIS 5号試験片を採取し、JIS Z 2241(2011)に準拠して引張試験を行うことで測定される。

【0053】

10

(全伸び: $t - E1$)

本発明の特定の実施形態によれば、高強度及び優れた溶接性に加えて、全伸びを改善することも可能であり、例えば5.0%以上、7.0%以上又は10.0%以上の全伸びを達成することが可能である。上限値については特に限定されないが、例えば、全伸びは25.0%以下又は20.0%以下であってもよい。素材である鋼板を冷間で成形して構造体を製造するときに、複雑な形状に仕上げるためには伸びが必要となる。したがって、このような高い全伸びを達成し得る鋼板は構造体を製造する上で非常に有用である。全伸びは、試験片の長手方向が鋼板の圧延直角方向と平行になる向きからJIS 5号試験片を採取し、JIS Z 2241(2011)に準拠して引張試験を行うことで測定される。

【0054】

20

(穴広げ値: λ)

本発明の特定の実施形態によれば、高強度及び優れた溶接性に加えて、穴広げ性を改善することも可能であり、例えば10.0%以上、15.0%以上又は20.0%以上の穴広げ値を達成することが可能である。上限値については特に限定されないが、例えば、穴広げ値は90.0%以下又は80.0%以下であってもよい。素材である鋼板を冷間で成形して構造体を製造するときに、複雑な形状に仕上げるためには伸びとともに穴広げ性も必要となる。したがって、このような高い穴広げ値を達成し得る鋼板は構造体を製造する上で非常に有用である。穴広げ値は以下のようにして決定される。まず、試験片に直径10 mmの円形穴(初期穴: 穴径 $d0 = 10$ mm)を、クリアランスが12.5%となる条件で打ち抜き、かえり(バリ)がダイ側となるようにし、頂角60°の円錐ポンチにて板厚を貫通する割れが発生するまで初期穴を押し広げ、割れ発生時の穴径 $d1$ mmを測定して、下記式にて各試験片の穴広げ値 λ (%)を求める。この穴広げ試験を5回実施し、それらの平均値を穴広げ値 λ として決定する。

$$\lambda = 100 \times (d1 - d0) / d0$$

30

【0055】

(板厚)

鋼板の板厚は成形後の鋼部材の剛性に影響を与える因子であり、板厚が大きいほど部材の剛性は高くなる。したがって、剛性を高める観点からは、0.2 mm以上の板厚が好ましい。板厚は0.3 mm以上、0.6 mm以上、1.0 mm以上又は2.0 mm以上であってもよい。一方で、板厚が厚すぎると、張出成形時の成形荷重が増加し、金型の損耗や生産性の低下を招く場合がある。このため、6.0 mm以下の板厚が好ましい。板厚は5.0 mm以下又は4.0 mm以下であってもよい。

40

【0056】

次に、上記で規定する組織の観察及び測定方法を述べる。

【0057】

(鋼板表面から1~10 μ mの深さ領域における直径0.1 μ m未満の析出物の数密度の測定方法)

鋼板表面から1~10 μ mの深さ領域における析出物の直径と数密度の測定は、鋼の断面における組織観察を行うことで決定される。析出物の分散状態はRD方向(鋼板の圧延方向)あるいはTD方向(鋼板の幅方向)のそれぞれの観察の方向で変わらないため、N

50

D面（鋼板表面）に対して垂直な面において組織観察を行えばよい。機械研磨により研磨面を鏡面に仕上げる予備処理を施した素材の表層部分から、集束イオンビーム（FIB：Focus Ion Beam）加工装置により、観察用の試料を切り出し、電界放出型透過型電子顕微鏡（FE-TEM：Field Emission Transmission Electron Microscopy）による倍率が5万倍での観察と、エネルギー分散型X線検出器（EDX：Energy Dispersive X-ray Spectrometry）による組成分析を併用し、析出物の特定とともに個々の析出物粒子の直径を求める。なお、観察の視野は、板厚方向に10 μm であり、かつ、板厚方向を2次元図である観察像における高さ方向とする時に、この高さ方向に直交する横方向の長さが5 μm である領域、即ち50 μm^2 とし、観察及び組成分析で得た直径0.1 μm 未満の析出物の総数を、この面積で除すことにより、単位面積あたりの析出物の個数（数密度）を求める。また、この領域が含まれる寸法であれば観察に供する試料の面積に制限は無いものの、後述する表層部の固溶C量を測定するために試料の高さは60 μm 超であることが望ましい。更に、試料の膜厚が変わると測定される炭化物の総数は変化しうるため、試料の膜厚は10～30nmとし、15～25nmの膜厚で試料を作製することが好ましい。

【0058】

（鋼板表面から10～60 μm の深さ領域における固溶C量の測定方法）

上記深さ領域における固溶C量は、前述に記載する手順と同様に評価用の試料を切り出し、FE-TEMによる観察及びEDXによる分析から求める。なお、鋼板表面から10～60 μm の深さ領域における組成を求めるため、試料の高さは少なくとも60 μm 超である必要がある。Cが固溶Cではなく析出物として存在する場合、その存在形態は酸化物を含む非金属介在物と炭化物の2種に限定される。酸化物を含む非金属介在物や炭化物におけるCの濃度は、鋼板の平均成分値の2倍を超える値を持つ。このため、鋼板表面から10～60 μm の深さ領域におけるFE-TEM及びEDXによるマップ分析値において、鋼板の平均組成の2倍以下の領域を鋼母相とみなし、その領域の平均C量を固溶C量とする。第3の深さ領域の固溶C量を測定する場合には、試料の高さは少なくとも90 μm 超とし、60～90 μm の深さ領域におけるFE-TEM及びEDXによるマップ分析値において、鋼板の平均組成の2倍以下の領域を鋼母相とみなし、その領域の平均C量を第3の深さ領域（鋼板表面から60 μm ～板厚1/4の深さ領域）における固溶C量とする。

【0059】

<鋼板の製造方法>

本発明の実施形態に係る鋼板の製造方法は上述した成分範囲の材料を用いて、熱間圧延と冷延及び焼鈍条件の一貫した管理を特徴としている。具体的には、本発明の実施形態に係る鋼板の製造方法は、鋼板に関して上で説明した化学組成と同じ化学組成を有する鋼片を熱間圧延し、次いで580以下で巻き取る工程、

得られた熱延鋼板を酸洗して前記熱延鋼板の表面上に存在する酸化スケールを除去するとともに前記熱延鋼板の表層を少なくとも5 μm 除去する工程、及び

前記熱延鋼板を冷間圧延し、次いで焼鈍する工程であって、前記焼鈍は、得られた冷延鋼板を露点が-20～20の雰囲気中200～400の温度域で20～180秒間保持し、次いで露点が-20～20の雰囲気中740～900の温度域で45～300秒間保持することを含む工程

を含むことを特徴としている。以下、各工程について詳しく説明する。

【0060】

（熱間圧延及び巻き取り工程）

本工程では、鋼板に関して上で説明した化学組成と同じ化学組成を有する鋼片が熱間圧延に供される。使用する鋼片は、生産性の観点から連続鑄造法によって鑄造することが好ましいが、造塊法又は薄スラブ鑄造法によって製造してもよい。また、鑄造された鋼片に対し、板厚調整等のために、任意選択で仕上げ圧延の前に粗圧延を施してもよい。このような粗圧延は、所望のシートバー寸法が確保できればよく、その条件は特に限定されない。熱間圧延は、特に限定されないが、一般的には仕上げ圧延の完了温度が650以上と

10

20

30

40

50

なるような条件下で行われる。仕上げ圧延の完了温度が低すぎると、圧延反力が高まり、所望の板厚を安定して得ることが困難となるからである。上限は特に限定されないが、一般的には仕上げ圧延の完了温度は950以下である。

【0061】

(巻き取り温度)

熱間圧延後、得られた熱延鋼板は580以下の巻き取り温度で巻き取られる。巻き取り温度は、オーステナイトからフェライト、パーライト、ベイナイト及びマルテンサイトへの鋼組織の変態挙動を制御するとともに、Tiの析出挙動を制御する重要な因子である。比較的高い温度で巻き取ると、巻き取り後に鋼組織中で粗大なTi析出物が生成する場合がある。このような場合には、後で詳しく説明される冷延板焼鈍の後に鋼板の表層組織に特性(強度、硬さ等)の十分な傾斜を付与することができなくなる。したがって、このような粗大なTi析出物の生成を抑えるために、巻き取り温度はできるだけ低いほうが好ましく、具体的には580以下とする。巻き取り温度は好ましくは550以下である。例えば、巻き取り温度は室温以下であってもよいが、室温以下の温度で巻き取るためには鋼板を冷却する水の温度を室温以下に下げることが必要があり、製造コストの増加を引き起こす。また、急冷により鋼板内の残留応力が高まるため、例えば、10未満の温度で鋼板を巻き取ると、後工程の酸洗においてコイルをほどく際に、鋼板の割れを招き、生産性が低下する。このため、特に限定されないが、巻き取り温度の下限値は一般的には10以上であり、好ましくは50以上である。

【0062】

(酸洗工程)

巻取った熱延鋼板を巻き戻し、酸洗に供する。酸洗を行うことで、熱延鋼板の表面上に存在する酸化スケールを除去して、冷延鋼板の化成処理性や、めっき性の向上を図ることができる。酸化スケールとは、鋼板の表面に形成された酸化物の層(外部酸化層)をいうものであり、鋼板との界面に生成するFeOとSiO₂の複合酸化物であるファイアライト(Fe₂SiO₄)等を含む。加えて、酸洗では鋼板の表層の溶解を促進させ、熱延鋼板の表層において酸化スケールの下すなわち鋼板内部に生成した酸化物(内部酸化物)も完全に取り除かれる。鋼板内部に生成した酸化物を完全に取り除くこと、すなわち鋼板内部に生成した内部酸化層の厚さを0μmとすることで、鋼中のTiが酸素と結びつくのを抑制してTiを固溶状態で存在させることが可能となる。ここで、内部酸化層の厚さは、鋼板の表面から鋼板の板厚方向(鋼板の表面に垂直な方向)に進んだ場合における鋼板の表面から内部酸化物が存在する最も遠い位置までの距離をいうものである。酸洗後に現れた新生面から板厚内部において固溶Tiを残すことにより、冷延板焼鈍後に鋼板の最表層に微細なTi析出物を多く生成することができ、その結果として表層組織に特性の十分な傾斜を付与することができる。酸洗は一回でもよいが、熱延鋼板の酸化スケールの下に生成した鋼中の酸化物をより確実に取り除くために、複数回に分けて行ってもよく、酸洗の前後に研削ブラシなどによる機械研磨を施してもよい。また、酸洗前後での板厚の変化の測定に代替して、酸洗前後のコイル重量の変化から鋼板表層の除去量を求めてもよい。鋼板表層の除去量が5μm未満では、酸化スケール下の酸化物は完全には除去されず、すなわち内部酸化層の厚さが0μm超となり、冷延板焼鈍時の加熱工程において、鋼板表層に残存する内部酸化物から酸素の供給を受けて、鋼板表層においてTi酸化物が析出及び粗大化し、冷延板焼鈍後に鋼板の表層組織に特性の十分な傾斜を付与することができなくなる。このため、鋼板表層の除去量は5μm以上、より具体的には片面で5μm以上とし、好ましくは7μm以上、より好ましくは10μm以上である。酸洗による鋼板表層の除去量は多いほど好ましいものの、過度な鋼の溶損は、酸洗速度の低下及び歩留まり低下による生産性の低下を引き起こす。このため、上限値は一般的には150μm以下であり、120μm以下、100μm以下、70μm以下、50μm以下又は30μm以下であってもよい。

【0063】

(冷間圧延及び焼鈍工程)

最後に、得られた熱延鋼板は、冷間圧延、次いで所定の焼鈍（以下、「冷延板焼鈍」ともいう）を施され、本発明の実施形態に係る鋼板が得られる。冷間圧延における圧下率は、特に限定されず、任意の適切な値であってよい。例えば、当該圧下率は５％以上、１０％以上若しくは３０％以上であってよく、及び／又は９０％以下、７５％以下若しくは５０％以下であってよい。以下、冷延板焼鈍について詳しく説明する。

【００６４】

（冷延板焼鈍）

（２００～４００ の温度域での露点）

冷延板焼鈍中の加熱工程において、炉内におけるガス雰囲気中の露点を高めること、具体的には露点を－２０～２０ の範囲内に制御することにより鋼板内部への酸素の侵入を促し、鋼板の最表層部に微細なＴｉ析出物を生むことができる。これらの微細なＴｉ析出物を核として、加熱処理に続く均熱処理において鋼板表面から１～１０μｍの深さ領域に直径０．１μｍ未満の析出物を１０個／μｍ^２以上生成させ、冷延板焼鈍後の鋼板における最表層の硬さを増加させることができる。露点が低すぎると、鋼板内に侵入する酸素の量が足りず、微細なＴｉ析出物の核が少なくなるため、冷延板焼鈍後の鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができなくなる。このため、露点の下限値は－２０以上とし、好ましくは－１５°以上である。一方で、露点が高いと、鋼板内に侵入する酸素の量が過剰となり、粗大なＴｉ析出物が低い数密度で生成することとなる。このため、露点の上限値は２０以下とし、好ましくは１５以下である。

10

【００６５】

（２００～４００ の温度域での保持時間）

冷延板焼鈍中の加熱工程において、鋼板の最表層部に微細なＴｉ析出物を生むためには、露点とともに、２００～４００ の温度域での保持時間を制御することが効果的である。ここで、保持時間とは、２００～４００ の温度域に滞在している時間をいうものであり、よって２００～４００ の間で徐々に昇温されている場合の時間を包含するものである。保持時間が短いと、鋼板内に侵入する酸素の量が足りず、微細なＴｉ析出物の核が少なくなるため、冷延板焼鈍後の鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができなくなる。このため、保持時間の下限値は２０秒以上とし、好ましくは３０秒以上である。一方で、保持時間が長いと、鋼板内に侵入する酸素の量が過剰となり、粗大なＴｉ析出物が低い数密度で生成することとなる。このため、保持時間の上限値は１８０秒以下とし、好ましくは１５０秒以下である。

20

30

【００６６】

（７４０～９００ の温度域での露点）

冷延板焼鈍において、２００～４００ の温度域における露点と保持時間を最適化して鋼板の最表層部に微細なＴｉ析出物を生成させた後、これらの微細なＴｉ析出物を核として、７４０～９００ における露点を制御することにより、鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができる。さらに、７４０～９００ での保持では、２００～４００ での保持に比べて鋼中の合金元素の拡散が促進されるため、鋼中に固溶していたＣが酸素と結びつき、雰囲気中に脱離（脱炭反応）して固溶Ｃ量が低下する。この効果により鋼板表面から１０～６０μｍの深さ領域における固溶Ｃ量を０．２０質量％未満に低減でき、この領域に軟質層を新たに作ることが可能となる。露点が低すぎると、鋼板内に侵入する酸素の量が足りないため、Ｔｉ析出物並びに当該Ｔｉ析出物を核としたＳｉ及びＭｎ酸化物の粗大化が足りず、冷延板焼鈍後の鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができず、加えて、鋼板表面から１０～６０μｍの深さ領域における固溶Ｃ量を低減できなくなる。このため、露点の下限値は－２０以上とし、好ましくは－１５以上である。一方で、露点が高いと、鋼板内に侵入する酸素の量が過剰となり、Ｔｉ析出物並びに当該Ｔｉ析出物を核としたＳｉ及びＭｎ酸化物の粗大化及び合体を抑えることができなくなり、析出物の数密度が低下する。このため、露点の上限値は２０以下とし、好ましくは１５以下である。

40

【００６７】

50

(7 4 0 ~ 9 0 0 の温度域での保持時間)

冷延板焼鈍において、200 ~ 400 の温度域における露点と保持時間を最適化して鋼板の最表層部に微細なTi析出物を生成させた後、これらの微細なTi析出物を核として、740 ~ 900 における保持時間を制御することにより、鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができる。さらに、740 ~ 900 での保持では、200 ~ 400 での保持に比べて鋼中の合金元素の拡散が促進されるため、鋼中に固溶していたCが酸素と結びつき、雰囲気中に脱離(脱炭反応)して固溶C量が低下する。この効果により鋼板表面から10 ~ 60 μm の深さ領域における固溶C量を0.20質量%未満に低減でき、この領域に軟質層を新たに作ることも可能となる。ここで、保持時間とは、740 ~ 900 の温度域に滞在している時間をいうものであり、よって740 ~ 900 の間で徐々に昇温されている場合の時間を包含するものである。保持時間が短いと、鋼板内に侵入する酸素の量が足りないため、Ti析出物並びに当該Ti析出物を核としたSi及びMn酸化物の粗大化が足りず、冷延板焼鈍後の鋼板の最表層において析出物を十分な量で析出させることができず、加えて、鋼板表面から10 ~ 60 μm の深さ領域における固溶C量を低減できなくなる。このため、保持時間の下限値は45秒以上とし、好ましくは48秒以上又は60秒以上である。一方で、保持時間が長いと、鋼板内に侵入する酸素の量が過剰となり、Ti析出物並びに当該Ti析出物を核としたSi及びMn酸化物の粗大化及び合体を抑えることができなくなり、析出物の数密度が低下する。このため、保持時間の上限値は300秒以下とし、好ましくは250秒以下である。

【0068】

本発明の実施形態に係る鋼板の製造方法では、上記のとおり、鋼板表層に微細な析出物(例えばTi酸化物)を形成させるためにTiを含有させており、より具体的には、Tiを含有する熱延鋼板を巻き取り工程において580 以下の比較的低い巻き取り温度で巻き取ることで、鋼組織中の粗大なTi析出物の生成が抑制され、次の酸洗工程において熱延鋼板表層の除去量を5 μm 以上とすることで外部酸化物に加えて内部酸化物も完全に除去され、鋼中のTiが酸素と結びつくのを抑制してTiを固溶状態で存在させることを可能とする。次に、焼鈍工程において200 ~ 400 での制御された焼鈍(露点: -20 ~ -200 、保持時間: 20 ~ 180秒)により微細なTi析出物を生成し、次いで740 ~ 900 での制御された焼鈍(露点: -20 ~ -200 、保持時間: 40 ~ 300秒)により、上記の微細なTi析出物を核として鋼板の最表層に析出物を十分な量で析出させることができる。このような析出物に起因する析出強化によって最表層の硬さを増加させることができる。さらに、このような高温下で鋼中の合金元素の拡散が促進され、鋼中に固溶していたCが酸素と結びついて雰囲気中に脱離し、鋼板表面から10 ~ 60 μm の深さ領域における固溶C量を0.20質量%未満に低減することができる。その結果として、この領域に最表層に比べて軟らかい層を形成することができる。すなわち、本発明の実施形態に係る鋼板の製造方法では、Tiの存在を前提として、これを含有する鋼を特に巻き取り工程、酸洗工程、及び焼鈍工程の製造条件を適切に制御することにより、鋼板の表層組織に硬さ等の特性の十分な傾斜を付与することを可能としている。Tiの存在を前提としたこのような特定の製造条件の組み合わせにより、鋼板の表層組織に特性の傾斜を付与することができるという事実は従来知られておらず、今回、本発明者らによって初めて明らかにされたことである。

【0069】

(平均冷却速度)

以下、焼鈍後の冷却、焼戻し及びめっき処理の好ましい実施形態について詳しく説明する。下記の記載は、焼鈍後の冷却、焼戻し及びめっき処理の好ましい実施形態の単なる例示であって、鋼板の製造方法を何ら限定するものではない。上記焼鈍後の冷却は、750 から550 まで平均冷却速度100 /秒以下で実施することが好ましい。100 /秒以下の平均冷却速度で冷却することで硬さのばらつきを抑制することが可能となる。平均冷却速度は80 /秒以下又は60 /秒以下であってもよい。平均冷却速度の下限値は、特に限定されないが、十分な強度を確保するとの観点から、例えば2.5 /秒で

10

20

30

40

50

あってよく、好ましくは5 / 秒以上、より好ましくは10 / 秒以上、最も好ましくは20 / 秒以上である。

【0070】

(冷却停止温度)

上記の冷却は、25～550 の温度で停止し(冷却停止温度)、続いて、この冷却停止温度がめっき浴温度よりも低い場合には350～550 の温度域に再加熱して滞留させてもよい。上述の温度範囲で冷却を行うと冷却中に未変態のオーステナイトからマルテンサイトが生成する。その後、再加熱を行うことで、マルテンサイトは焼き戻され、硬質相内での炭化物析出や転位の回復・再配列が起こり、耐水素脆性が改善する。

【0071】

(滞留温度及び滞留時間)

再加熱後かつめっき浴浸漬前に、350～550 の温度域で鋼板を滞留させてもよい。この温度域での滞留は、マルテンサイトの焼き戻しに寄与するばかりでなく、板の幅方向の温度ムラをなくし、めっき後の外観を向上させる。なお、冷却停止温度が350～550 であった場合には、再加熱を行わずに滞留を行えばよい。滞留を行う場合、滞留時間は10～600秒であることが好ましい。

【0072】

(焼戻し)

焼戻しは、一連の焼鈍工程において、冷延板又は冷延板にめっき処理を施した鋼板を、室温まで冷却した後、あるいは、室温まで冷却する途中(ただしマルテンサイト変態開始温度(Ms)以下)において再加熱を開始し、150～400 の温度域で2秒以上保持することで実施してもよい。このような処理によれば、再加熱後の冷却中に生成したマルテンサイトを焼戻して、焼戻しマルテンサイトとすることにより、耐水素脆性を改善することができる。焼戻しは、連続焼鈍設備内で行ってもよいし、連続焼鈍後にオフラインで別設備にて実施してもよい。この際、焼戻し時間は、焼戻し温度により異なる。すなわち、低温ほど長時間となり、高温ほど短時間となる。

【0073】

(めっき)

焼鈍工程中又は焼鈍工程後の冷延鋼板に対して、必要に応じて、(亜鉛めっき浴温度-40)～(亜鉛めっき浴温度+50) に加熱又は冷却して、熔融亜鉛めっきを施してもよい。熔融亜鉛めっき工程によって、冷延鋼板の少なくとも一方の表面、好ましくは両方の表面には、熔融亜鉛めっき層が形成される。この場合、冷延鋼板の耐食性が向上するので好ましい。熔融亜鉛めっきを施しても、鋼板の耐LME性を十分に維持することができる。

【0074】

(めっき浴の組成)

めっき浴の組成は、Znを主体とし、有効Al量(めっき浴中の全Al量から全Fe量を引いた値)が0.050～0.250質量%であることが好ましい。めっき浴中の有効Al量が0.050質量%未満であると、めっき層中へのFeの侵入が過度に進み、めっき密着性が低下するおそれがある。一方、めっき浴中の有効Al量が0.250質量%を超えると、鋼板とめっき層との境界に、Fe原子及びZn原子の移動を阻害するAl系酸化物が生成し、めっき密着性が低下するおそれがある。めっき浴中の有効Al量は0.065質量%以上であるのがより好ましく、0.180質量%以下であるのがより好ましい。めっき浴は、ZnやAl以外にもMg等の元素を含有していてもよい。

【0075】

(めっき浴浸漬板温度)

めっき浴浸漬板温度(熔融亜鉛めっき浴に浸漬する際の鋼板の温度)は、熔融亜鉛めっき浴温度より40 低い温度(熔融亜鉛めっき浴温度-40)から熔融亜鉛めっき浴温度より50 高い温度(熔融亜鉛めっき浴温度+50)までの温度範囲が好ましい。めっき浴浸漬板温度が熔融亜鉛めっき浴温度-40 を下回ると、めっき浴浸漬時の抜熱が

10

20

30

40

50

大きく、溶融亜鉛の一部が凝固してしまいめっき外観を劣化させる場合があるため望ましくない。浸漬前の板温度が溶融亜鉛めっき浴温度 - 40 を下回っていた場合、任意の方法でめっき浴浸漬前にさらに加熱を行い、板温度を溶融亜鉛めっき浴温度 - 40 以上に制御してからめっき浴に浸漬させてもよい。また、めっき浴浸漬板温度が溶融亜鉛めっき浴温度 + 50 を超えると、めっき浴温度上昇に伴う作業上の問題を誘発する。

【0076】

(めっき浴浸漬後の保持温度)

溶融亜鉛めっき層に合金化処理を施す場合は、溶融亜鉛めっき層を形成した鋼板を 470 ~ 550 の温度範囲に加熱することが好ましい。合金化温度が 470 未満であると、合金化が十分に進行しないおそれがある。一方、合金化温度が 550 を超えると、合金化が進行しすぎて、 γ 相の生成により、めっき層中の Fe 濃度が 15 % を超えることで耐食性が劣化する恐れがある。合金化温度は 480 以上であるのがより好ましく、540

10

以下であるのがさらにより好ましい。合金化温度は、鋼板の成分組成及び内部酸化層の形成度合いにより変える必要があるため、めっき層中の Fe 濃度を確認しながら設定すればよい。一方、溶融亜鉛めっき層に合金化処理を施さない場合は、めっき浴浸漬後の保持温度は 470 未満であってよく、例えば 450 ~ 470 未満であってよい。

【0077】

(めっきプレ処理)

めっき密着性をさらに向上させるために、連続溶融亜鉛めっきラインにおける焼鈍前に、母材鋼板に、Ni、Cu、Co、Fe の単独あるいは複数から成るめっきを施してもよい。

20

【0078】

(めっき後処理)

溶融亜鉛めっき鋼板及び合金化溶融亜鉛めっき鋼板の表面に、塗装性、溶接性を改善する目的で、上層めっきを施すことや、各種の処理、例えば、クロメート処理、りん酸塩処理、潤滑性向上処理、溶接性向上処理等を施すこともできる。

【0079】

(スキンプス圧下率)

さらに、鋼板形状の矯正や可動転位導入により延性の向上を図ることを目的として、スキンプス圧延を施してもよい。熱処理後のスキンプス圧延の圧下率は、0.1 ~ 1.5 % の範囲が好ましい。0.1 % 未満では効果が小さく、制御も困難であることから、0.1 % を下限とする。1.5 % を超えると生産性が著しく低下するので 1.5 % を上限とする。スキンプスは、インラインで行ってもよいし、オフラインで行ってもよい。また、一度に目的の圧下率のスキンプスを行ってもよいし、数回に分けて行っても構わない。

30

【0080】

上記の製造方法によれば、本発明の実施形態に係る鋼板を得ることができる。

【0081】

以下に本発明に係る実施例を示す。本発明はこの一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明要旨を逸脱せず、本発明目的を達する限りにおいては、種々の条件を採用可能とするものである。

40

【実施例】

【0082】

(例1)

種々の化学組成を有する鋼を溶製して鋼片を製造した。これらの鋼片を 1220 に加熱した炉内に挿入し、60 分間保持する均一化処理を与えた後に大気中に取り出し、熱間圧延して板厚 2.6 mm の鋼板を得た。熱間圧延における仕上げ圧延の完了温度は 910 であり、550 まで冷却して巻き取った。続いて、この熱延鋼板の酸化スケールを酸洗により片面 10 μ m の厚みを鋼板の両面の表層から除去し(酸洗後冷間圧延前の内部酸化層の厚さは表 2 に示すとおり)、圧下率 45 % の冷間圧延を施し、板厚を 1.4 mm に仕上げた。さらに、この冷延鋼板を焼鈍し、具体的には 860 まで昇温する際、200 ~

50

400 の温度範囲を露点 - 5 の雰囲気制御し、その温度範囲における保持時間を 30 秒とし、加えて、740 ~ 900 の温度範囲を露点 5 の雰囲気制御し、その温度範囲における保持時間を 120 秒とした。次に、冷延鋼板を表 2 に示す条件下で冷却及び滞留させ、次いでスキンプラス圧延を実施した。得られた各鋼板から採取した試料を分析した化学組成は、表 1 に示すとおりである。なお、表 1 に示す成分以外の残部は Fe 及び不純物である。また、表 2 は上記の加工熱処理を与えた鋼板の特性の評価結果である。

【0083】

(引張強度、全伸び及び穴広げ値の評価)

引張強度 (TS) 及び全伸び (t - El) は、試験片の長手方向が鋼板の圧延直角方向と平行になる向きから JIS 5 号試験片を採取し、JIS Z 2241 (2011) に準拠して引張試験を行うことで測定した。また、穴広げ値は以下のようにして決定した。まず、試験片に直径 10 mm の円形穴 (初期穴: 穴径 $d_0 = 10 \text{ mm}$) を、クリアランスが 12.5 % となる条件で打ち抜き、かえり (バリ) がダイ側となるようにし、頂角 60 ° の円錐ポンチにて板厚を貫通する割れが発生するまで初期穴を押し広げ、割れ発生時の穴径 $d_1 \text{ mm}$ を測定して、下記式にて各試験片の穴広げ値 λ (%) を求めた。この穴広げ試験を 5 回実施し、それらの平均値を穴広げ値 λ として決定した。

$$\lambda = 100 \times (d_1 - d_0) / d_0$$

【0084】

(耐 LME 性の評価)

耐 LME 性は、以下のようにして評価した。GA 軟鋼 (合金化溶融亜鉛めっき鋼板) と表 2 に示す鋼板とで下記条件にて溶接試験を行い、4.0 kA から 10.0 kA まで電流量を変えて溶接した試験片を作製し、その後、断面組織を観察して、ナゲット径と割れの長さを確認し、ナゲット径が 5.5 mm 以下の領域において割れ長さが 0.1 mm 未満であった場合に合格 (OK) とし、ナゲット径が 5.5 mm 以下の領域において割れ長さが 0.1 mm 以上であった場合に不合格 (NG) とした。

電極: Cr - Cu 製の DR 型電極 (先端外径: 8 mm、R: 40 mm)

加圧力 P: 450 kg

電極の傾斜角 θ : 5 °

アップスロープ: なし

第 1 通電時間 t_1 : 0.2 秒

無通電間 t_c : 0.04 秒

第 2 通電時間 t_2 : 0.4 秒

電流比 I_1 / I_2 : 0.7

通電終了後の保持時間: 0.1 秒

【0085】

引張強度が 1200 MPa 以上であり、耐 LME 性の評価が OK である場合を、高強度でかつ溶接性に優れた鋼板として評価した。

【0086】

10

20

30

40

50

【表 1 - 1】

No.	化学組成(質量%、残部:Fe及び不純物)												
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Ni	Mo	Cr	O	Ti
A	0.24	1.43	3.78	0.0029	0.0142	1.255	0.0085	—	—	—	—	—	0.163
B	0.26	0.41	0.64	0.0190	0.0038	0.717	0.0021	—	—	—	—	—	0.470
C	0.32	0.15	1.93	0.0004	0.0052	1.177	0.0172	—	—	—	—	—	0.290
D	0.39	0.97	3.34	0.0099	0.0018	1.263	0.0159	—	—	—	—	—	0.450
E	0.34	1.35	2.33	0.0079	0.0026	0.794	0.0005	—	—	—	—	—	0.051
F	0.23	0.82	1.88	0.0059	0.0111	0.435	0.0037	—	—	—	—	—	0.241
G	0.28	0.42	2.55	0.0178	0.0121	0.623	0.0133	—	—	—	—	—	0.141
H	0.32	1.78	1.47	0.0175	0.0162	0.893	0.0062	—	—	—	—	—	0.300
I	0.31	0.56	1.37	0.0120	0.0071	0.210	0.0093	—	—	—	—	—	0.342
J	0.22	0.72	2.14	0.0014	0.0159	0.352	0.0198	—	—	—	—	—	0.358
K	0.37	1.04	2.53	0.0105	0.0080	1.406	0.0029	—	—	—	0.0873	0.0012	0.220
L	0.34	1.87	3.06	0.0151	0.0085	0.904	0.0079	—	—	—	0.1029	0.0009	0.409
M	0.39	0.23	1.19	0.0065	0.0185	0.513	0.0152	0.1102	—	—	1.6048	—	0.420
N	0.21	1.84	2.63	0.0111	0.0007	0.053	0.0114	—	0.1255	—	—	0.0018	0.025
O	0.25	1.21	0.30	0.0130	0.0177	1.102	0.0122	0.0462	—	0.6696	0.3315	—	0.132
P	0.36	0.13	3.73	0.0038	0.0107	1.027	0.0062	—	—	0.0597	—	—	0.071
Q	0.27	1.13	1.01	0.0043	0.0065	0.105	0.0051	—	—	—	—	—	0.275
R	0.28	1.62	0.52	0.0166	0.0091	1.357	0.0139	—	—	—	0.2090	—	0.090
S	0.37	1.51	0.81	0.0139	0.0130	0.282	0.0183	0.1396	0.1124	0.0528	0.2982	0.0015	0.399
T	0.29	0.75	2.94	0.0086	0.0190	0.557	0.0109	—	0.0629	—	0.1429	0.0020	0.200
U	0.19	0.73	2.74	0.0127	0.0024	0.910	0.0141	—	—	—	—	—	0.335
V	0.43	1.03	1.30	0.0007	0.0078	0.492	0.0036	—	—	—	—	—	0.203
W	0.36	2.08	2.53	0.0124	0.0093	0.720	0.0181	—	—	—	—	—	0.399
X	0.38	1.78	0.06	0.0109	0.0098	1.302	0.0166	—	—	—	—	—	0.369

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 8 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

No.	化学組成(質量%, 残部:Fe及び不純物)														
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Ni	Mo	Cr	O	Ti	B	Nb
Y	0.26	0.34	4.13	0.0190	0.0172	0.905	0.0032	—	—	—	—	—	0.054	0.0010	—
Z	0.25	1.48	1.06	0.0205	0.0070	0.883	0.0074	—	—	—	—	—	0.234	—	—
AA	0.23	0.39	1.78	0.0152	0.0205	0.850	0.0036	—	—	—	—	—	0.110	0.0010	—
AB	0.39	0.20	3.78	0.0010	0.0183	1.552	0.0025	—	—	—	—	—	0.354	0.0012	—
AC	0.26	0.49	2.52	0.0173	0.0017	1.325	0.0206	—	—	—	—	—	0.252	—	—
AD	0.29	0.30	0.78	0.0104	0.0042	0.551	0.0110	0.5141	0.5031	0.0991	—	—	0.143	—	0.0428
AE	0.34	0.34	0.49	0.0173	0.0103	0.688	0.0061	0.1256	1.0377	0.1602	—	—	0.403	0.0068	—
AF	0.30	1.90	1.66	0.0041	0.0029	0.358	0.0085	—	—	1.0374	1.3711	—	0.437	0.0037	0.0518
AG	0.32	0.20	1.46	0.0046	0.0163	0.261	0.0157	0.0467	—	0.7288	2.0770	0.0015	0.114	—	0.4037
AH	0.26	1.09	3.87	0.0045	0.0128	0.514	0.0086	—	0.6500	—	—	0.0020	0.003	—	—
AI	0.31	1.68	2.16	0.0107	0.0039	0.384	0.0145	0.0274	0.0691	0.3840	0.1303	—	0.519	—	0.0287
AJ	0.37	1.46	3.81	0.0075	0.0010	1.036	0.0064	0.0363	0.0868	—	0.3753	—	0.258	0.0104	—
AK	0.36	1.75	2.89	0.0168	0.0136	0.063	0.0050	—	0.1065	0.1045	0.1444	0.0024	0.441	0.0073	—
AL	0.25	1.31	2.98	0.0143	0.0164	0.267	0.0192	0.0984	0.0690	—	—	0.0022	0.185	—	0.0481
AM	0.32	1.37	3.23	0.0132	0.0062	0.178	0.0175	0.1902	0.1625	0.1542	0.1101	0.0106	0.061	0.0019	—
AN	0.34	1.59	2.37	0.0157	0.0091	1.009	0.0095	—	0.2199	—	1.3785	—	0.286	0.0011	0.0446
AO	0.34	0.38	3.26	0.0127	0.0029	1.252	0.0091	0.2905	—	—	—	0.0012	0.457	—	0.0287
AP	0.39	1.03	3.30	0.0157	0.0178	1.060	0.0152	0.0354	—	—	0.1081	—	0.177	0.0006	—
AQ	0.23	0.77	2.66	0.0172	0.0084	0.147	0.0177	—	0.0811	0.1027	—	0.0089	0.277	—	0.1079
AR	0.31	1.76	3.55	0.0076	0.0021	0.573	0.0110	0.0908	0.8393	—	—	—	0.160	0.0014	0.1267
AS	0.22	1.32	1.81	0.0093	0.0080	0.389	0.0015	—	—	0.1399	—	0.0010	0.326	—	—
AT	0.20	0.84	1.87	0.0067	0.0048	0.176	0.0025	0.2094	0.0655	—	—	0.0018	0.169	—	0.0451
AU	0.30	0.42	0.49	0.0047	0.0189	0.203	0.0087	—	0.1566	—	0.1527	—	0.259	—	—

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 3】

化学組成(質量%、残部:Fe及び不純物)													
No.	V	Cu	W	Ta	Sn	Sb	As	Mg	Ca	Y	Zr	La	Ce
A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	—	—	0.0069	—	0.0045	0.0145	—	—	—	—	0.0049	0.0041	0.0108
L	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M	—	0.0597	0.0760	0.0791	—	0.0062	—	0.0036	0.0391	—	—	0.0052	0.0393
N	0.0484	—	—	0.0087	0.0067	—	0.0034	—	—	0.0242	—	—	0.0046
O	0.0380	—	0.0069	—	—	0.0043	0.0324	—	0.0058	0.0044	0.0036	—	—
P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	0.0713	0.0580	0.0110	0.0129	0.0031	0.0041	0.0248	0.0142	0.0241	0.0059	0.0043	0.0392	0.0046
T	0.0538	—	0.0191	—	—	—	0.0143	—	0.0051	—	—	—	—
U	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

下線は本発明の範囲外であることを示す。

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【表 1 - 4】

表1-4

No.	化学組成(質量%、残部: Fe及び不純物)												
	V	Cu	W	Ta	Sn	Sb	As	Mg	Ca	Y	Zr	La	Ce
Y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AD	—	—	0.0299	—	0.0049	—	0.0043	0.0050	0.0036	—	—	0.0059	—
AE	—	0.1857	0.0180	0.0728	—	0.0231	0.0043	—	0.0030	—	0.0040	0.0094	0.0035
AF	0.0605	—	—	—	0.0055	—	—	0.0388	—	0.0263	0.0035	—	0.0090
AG	—	0.0355	—	0.0087	—	0.0052	0.0044	—	0.0050	0.0047	—	0.0029	—
AH	—	0.0734	0.0113	—	0.0053	—	0.0049	0.0035	0.0070	—	0.0055	0.0049	0.0046
AI	—	0.0480	—	0.0084	0.0347	—	—	—	—	0.0059	—	—	0.0041
AJ	0.0335	0.0194	0.0829	—	0.0048	—	0.0413	0.0060	—	0.0062	0.0049	—	0.0372
AK	0.5133	0.2486	0.0065	0.0117	—	—	—	0.0371	0.0048	—	0.0319	0.0066	0.0052
AL	0.0301	0.5158	0.0118	—	0.0022	0.0029	0.0054	—	—	0.0369	—	0.0259	0.0324
AM	0.2935	—	0.0257	0.1040	0.0301	0.0040	—	—	—	—	0.0025	0.0044	—
AN	—	0.4181	0.0185	—	0.0512	—	—	0.0265	0.0027	—	—	—	0.0049
AO	0.0286	0.0337	—	—	0.0056	0.0513	0.0049	—	0.0059	—	0.0056	0.0417	—
AP	0.1107	0.1012	—	—	0.0030	—	—	0.0516	0.0081	—	0.0383	—	0.0092
AQ	0.0508	—	0.0055	—	—	0.0330	—	—	0.0510	0.0379	—	—	—
AR	0.0431	0.0387	—	—	—	—	0.0091	—	0.0048	0.0514	0.0042	0.0035	—
AS	0.3907	0.4142	0.0757	—	0.0382	0.0421	—	—	—	0.0096	0.0510	0.0218	—
AT	0.0357	—	—	0.0112	—	—	—	0.0041	0.0049	0.0025	—	0.0519	—
AU	—	0.0260	0.0148	—	—	0.0031	—	—	0.0047	—	0.0195	—	0.0518

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【表 2 - 1】

表2-1																	
No.	仕上げ 圧延完了 温度(℃)	巻取温度 (℃)	銅板表面 除去量 (μm)	冷間圧延前の 内部酸化層厚さ (μm)	冷間 圧下率 (%)	冷延板焼鈍										めっき	スキャン 圧下率 (%)
						200～400℃		740～900℃		750℃から550℃ までの平均冷却 速度(℃/秒)	冷却停止 温度(℃)	滞留温度 (℃)	滞留時間 (秒)	焼戻し (℃)			
						露点(℃)	保持時間(秒)	露点(℃)	保持時間(秒)								
A-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
B-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
C-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
D-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
E-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
F-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
G-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
H-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
I-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
J-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
K-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
L-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
M-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
N-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
O-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
P-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
Q-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
R-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
S-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
T-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
U-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
V-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
W-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	
X-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	なし	0.3	

※欄は本発明の範囲外であることを示す。

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 9 1 】

【表 2 - 2】

表2-2		No.	仕上げ 圧延完了 温度(℃)	巻取温度 (℃)	銅板表層 除去量 (μm)	冷間圧延前の 内部酸化層厚さ (μm)	冷間 圧下率 (%)	冷延板純度						めっき	スキャン 圧下率 (%)			
								200～400℃		740～900℃		750℃から550℃ までの平均冷却 速度(℃/秒)	冷却停止 温度(℃)			滞留温度 (℃)	滞留時間 (秒)	焼戻し (℃)
								露点(℃)	保持時間(秒)	露点(℃)	保持時間(秒)							
		Y-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		Z-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AA-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AB-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AC-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AD-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AE-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AF-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AG-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AH-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AI-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AJ-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AK-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AL-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AM-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AN-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AO-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AP-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AQ-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AR-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AS-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AT-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	
		AU-1	910	550	10	0.00	45	-5	30	5	120	40	190	280	120	なし	0.3	

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 9 2 】

【表 2 - 3】

表2-3

No.	1～10μm深さ 直径0.1μm未満 析出物数密度 (個/μm ²)	10～60μm深さ 固溶C量 (質量%)	TS (MPa)	t-EI (%)	λ (%)	耐LME性	備考
A-1	125	0.10	1234	12.9	17.0	OK	実施例
B-1	19	0.07	1247	11.6	17.4	OK	実施例
C-1	17	0.07	1287	11.1	18.7	OK	実施例
D-1	76	0.12	1567	10.6	18.8	OK	実施例
E-1	118	0.03	1573	10.4	22.1	OK	実施例
F-1	62	0.10	1566	9.5	35.0	OK	実施例
G-1	46	0.07	1801	8.1	30.6	OK	実施例
H-1	146	0.15	1245	13.7	17.4	OK	実施例
I-1	71	0.04	1709	8.6	26.9	OK	実施例
J-1	145	0.06	1573	9.3	37.4	OK	実施例
K-1	58	0.07	1265	13.6	17.9	OK	実施例
L-1	90	0.04	1453	11.7	21.9	OK	実施例
M-1	24	0.03	2188	7.1	11.1	OK	実施例
N-1	102	0.08	1515	10.5	36.2	OK	実施例
O-1	17	0.11	1254	13.6	22.9	OK	実施例
P-1	136	0.05	1254	10.6	36.1	OK	実施例
Q-1	26	0.07	1510	10.2	26.8	OK	実施例
R-1	114	0.10	1266	15.1	31.8	OK	実施例
S-1	68	0.04	2028	8.6	18.9	OK	実施例
T-1	97	0.07	1861	8.1	28.7	OK	実施例
U-1	53	0.14	1186	12	23.7	OK	比較例
V-1	147	0.23	2251	3.6	9.3	NG	比較例
W-1	52	0.22	1642	4.8	23.6	NG	比較例
X-1	106	0.07	795	24.4	38.0	OK	比較例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【0093】

【表 2 - 4】

表2-4

No.	1～10μm深さ 直径0.1μm未満 析出物数密度 (個/μm ²)	10～60μm深さ 固溶C量 (質量%)	TS (MPa)	t-EI (%)	λ (%)	耐LME性	備考
Y-1	8	0.11	1535	4.9	29.7	NG	比較例
Z-1	8	0.05	1101	4.7	17.1	NG	比較例
AA-1	9	0.13	1225	11.5	20.5	NG	比較例
AB-1	142	0.03	694	20.6	50.1	OK	比較例
AC-1	6	0.08	1274	11.6	17.0	NG	比較例
AD-1	26	0.05	1516	4.6	25.7	OK	参考例
AE-1	16	0.08	1772	4.7	24.8	OK	参考例
AF-1	57	0.08	1778	4.8	28.8	OK	参考例
AG-1	30	0.07	1974	4.4	22.8	OK	参考例
AH-1	5	0.08	1733	8.7	33.4	NG	比較例
AI-1	214	0.11	778	19.0	46.4	OK	比較例
AJ-1	54	0.08	1665	4.2	6.1	OK	参考例
AK-1	39	0.04	2053	8.2	2.8	OK	参考例
AL-1	104	0.10	1746	8.9	3.0	OK	参考例
AM-1	46	0.12	1966	4.1	3.2	OK	参考例
AN-1	113	0.12	1399	12.3	7.7	OK	参考例
AO-1	97	0.06	1415	10.3	8.2	OK	参考例
AP-1	46	0.08	1604	10.1	4.2	OK	参考例
AQ-1	148	0.12	1674	8.6	7.8	OK	参考例
AR-1	125	0.07	1703	9.7	6.0	OK	参考例
AS-1	63	0.04	1510	10.4	6.5	OK	参考例
AT-1	110	0.06	1475	9.8	7.2	OK	参考例
AU-1	105	0.15	1363	10.4	4.1	OK	参考例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【0094】

表2を参照すると、例U-1はC含有量が低かったため、引張強度が1200MPa未満であった。例V-1はC含有量が高かったため、伸びの低下とともに耐LME性が低下した。例W-1はSi含有量が高かったため、引張強度の増加とともに伸びが低下し、さらに耐LME性が低下した。例X-1はMn含有量が低かったため、引張強度が1200MPa未満であった。例Y-1はMn含有量が高かったため、引張強度の増加とともに伸

びが低下し、さらに耐 L M E 性が低下した。例 Z - 1 は P 含有量が高かったため、鋼板が脆化してしまい、耐 L M E が低下した。例 A A - 1 は S 含有量が高かったため、耐 L M E が低下した。例 A B - 1 は A l 含有量が高かったため、フェライト変態等が過度に促進されて十分な引張強度が得られなかった。例 A C - 1 は N 含有量が高かったため、鋼板表層における析出物の生成を制御できず、耐 L M E 性が低下した。例 A H - 1 は T i 含有量が低かったため、鋼板表層に析出物を十分に生成させることができず、耐 L M E 性が低下した。例 A I - 1 は T i 含有量が高かったため、析出物が過剰に生成し、引張強度が低下した。一方で、例 A D - 1 ~ A G - 1 は、引張強度及び耐 L M E 性は良好であったものの、それぞれ C o、N i、M o 及び C r 含有量が高かったために、十分な伸びを達成することができなかった。同様に、例 A J - 1 ~ A U - 1 は、引張強度及び耐 L M E 性は良好であったものの、それぞれ B、V、C u、T a、S n、S b、M g、C a、Y、Z r、L a 及び C e 含有量が高かったために、十分な穴広げ性を達成することができなかった。これらの例は、「高強度でかつ溶接性に優れる鋼板を提供する」という本発明の課題を解決するものであるが、上記元素の含有量が本発明の範囲外であることから参考例としている。

10

【0095】

これとは対照的に、例 A - 1 ~ T - 1 では、鋼板の化学組成及び組織を適切に制御することにより、高強度でかつ優れた耐 L M E 性を有するとともに、全伸び及び穴広げ性も改善された鋼板を得ることができた。また、表 2 には特に示していないが、例 A - 1 ~ T - 1 の鋼板表面から $60\ \mu\text{m}$ ~ 板厚 $1/4$ の深さ領域における固溶 C 量は、鋼板表面から $10 \sim 60\ \mu\text{m}$ の深さ領域における固溶 C 量よりも高く、より具体的には鋼板表面から $10 \sim 60\ \mu\text{m}$ の深さ領域における固溶 C 量の 1.20 倍以上であった。

20

【0096】

(例 2)

さらに、製造条件の影響を調べるために、表 2 において優れた特性が認められた鋼種 A ~ T を対象として、表 3 に記載する製造条件の加工熱処理を与えて、板厚 $1.4\ \text{mm}$ の冷延鋼板を作製し、冷延焼鈍後の鋼板の特性を評価した。ここで、めっきを施した鋼板は熔融亜鉛めっき浴中に鋼板を浸漬した後に表 3 に示す温度で保持しており、保持温度が $450 \sim 470$ 未満では熔融亜鉛めっき鋼板であり、保持温度が 470 以上では鋼板の表面に鉄と亜鉛の合金めっき層を与えた合金化熔融亜鉛めっき鋼板である。また、冷延板焼鈍においてそれぞれの滞留温度で保持した後の鋼板を室温まで冷却するまでの間に、一旦 150 まで冷却した鋼板を再加熱して 2 秒以上保持する焼戻し処理を与えた。得られた結果を表 3 に示す。なお、特性の評価方法は例 1 の場合と同様である。

30

【0097】

40

50

【表 3 - 1】

No.	仕上げ 圧延完了 温度(℃)	巻取温度 (℃)	鋼板表面 除去量 (μm)	冷間圧延前の 内部酸化層厚さ (μm)	冷間 圧下率 (%)	冷延板焼鈍										めっき	めっき浴 浸漬後 保持温度 (℃)	スキパス 圧下率 (%)
						200～400℃		740～900℃		750℃から550℃ までの平均冷却 速度(℃/秒)	冷却停止 温度(℃)	滞留温度 (℃)	滞留時間 (秒)	焼戻し (℃)				
						露点(℃)	保持時間(秒)	露点(℃)	保持時間(秒)									
A-2	818	102	47	0.00	61	-11	118	3	169	68	333	514	433	169	なし	なし	0.5	
B-2	735	49	51	0.00	15	13	123	-26	178	45	141	445	102	193	なし	なし	0.9	
C-2	834	182	82	0.00	32	13	24	17	251	47	81	407	387	257	あり	454	0.8	
D-2	844	554	63	0.00	61	10	165	-18	34	31	129	504	427	336	なし	なし	0.3	
E-2	798	164	85	0.00	37	-10	42	6	227	8	409	447	383	273	なし	なし	0.6	
F-2	929	390	58	0.00	38	-26	158	9	192	21	509	510	166	279	あり	479	0.8	
G-2	922	22	12	0.00	46	-13	165	6	190	58	91	434	397	367	なし	なし	0.2	
H-2	902	368	83	0.00	59	9	46	-12	260	55	436	536	72	388	なし	なし	0.6	
I-2	770	368	50	0.00	23	17	103	23	70	57	122	379	555	247	あり	461	0.9	
J-2	884	58	37	0.00	80	4	34	-10	57	15	162	469	502	353	あり	473	0.2	
K-2	760	206	44	0.00	31	-8	91	-5	361	45	237	466	89	296	あり	454	0.7	
L-2	838	440	117	0.00	54	5	132	-4	180	27	224	460	370	208	あり	465	0.3	
M-2	777	285	26	0.00	10	-4	43	8	164	28	518	504	67	380	あり	457	0.8	
N-2	800	463	35	0.00	81	-2	144	-27	242	40	249	420	110	318	あり	467	0.4	
O-2	842	493	23	0.00	85	0	58	5	79	59	180	476	179	186	なし	なし	0.2	
P-2	752	537	27	0.00	20	7	83	13	267	12	203	382	562	347	なし	なし	1.0	
Q-2	938	600	50	0.00	14	-17	57	15	82	92	327	407	520	214	なし	なし	0.3	
R-2	919	496	88	0.00	66	-17	125	-16	60	72	276	431	372	308	あり	484	0.6	
S-2	932	146	12	0.00	50	27	118	-11	210	5	229	463	327	286	なし	なし	0.8	
T-2	906	481	63	0.00	70	-12	64	-17	216	61	239	518	560	323	なし	なし	0.2	

下線は本発明の範囲外であることを示す。

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 9 8 】

【表 3 - 2】

No.	仕上げ 圧延完了 温度(℃)	巻取温度 (℃)	銅板表面 除去量 (μm)	冷間圧延前の 内部酸化層厚さ (μm)	冷間 圧下率 (%)	冷延板焼鈍										めっき めっき (℃)	めっき浴 浸漬後 保持温度 (℃)	スキャン 圧下率 (%)
						200～400℃		740～900℃		750℃から550℃ までの平均冷却 速度(℃/秒)	冷却停止 温度(℃)	満室温度 (℃)	満室時間 (秒)	焼戻し (℃)				
						露点(℃)	保持時間(秒)	露点(℃)	保持時間(秒)									
A-3	759	212	10	0.00	65	-8	128	-6	141	96	289	365	304	200	あり	0.9		
B-3	706	91	91	0.00	22	11	176	-2	127	77	467	453	195	232	なし	0.7		
C-3	905	354	53	0.00	75	-7	127	1	236	80	205	374	489	356	なし	0.5		
D-3	735	105	25	0.00	35	16	102	-4	274	90	438	432	101	333	あり	0.3		
E-3	753	550	88	0.00	27	6	32	15	222	24	141	411	211	291	あり	0.7		
F-3	882	218	99	0.00	27	16	111	-13	49	28	116	486	353	315	なし	0.4		
G-3	847	270	80	0.00	38	-3	204	-6	56	87	463	390	94	211	あり	0.3		
H-3	781	404	38	0.00	63	-8	82	18	143	8	424	455	207	265	あり	0.5		
I-3	801	216	24	0.00	44	25	87	-18	217	71	49	416	379	177	あり	0.4		
J-3	805	385	37	0.00	20	7	52	-1	296	33	515	444	253	266	なし	0.2		
K-3	880	480	43	0.00	63	17	40	12	247	16	324	370	290	180	なし	1.0		
L-3	751	253	71	0.00	30	-11	157	-13	148	68	296	395	220	298	あり	0.7		
M-3	757	317	72	0.00	41	-16	90	-16	123	62	382	528	492	157	なし	0.9		
N-3	939	53	67	0.00	40	-3	145	-16	97	8	476	366	436	325	あり	0.2		
O-3	852	260	3	0.14	29	2	164	-16	147	83	111	377	547	335	なし	0.2		
P-3	738	492	70	0.00	9	0	104	-9	271	23	288	521	515	357	あり	0.7		
Q-3	772	455	69	0.00	74	-6	72	9	178	61	101	522	478	326	なし	0.6		
R-3	905	102	18	0.00	54	17	17	-12	118	42	456	525	234	289	なし	0.2		
S-3	878	418	59	0.00	60	1	155	5	94	53	323	489	224	227	なし	0.6		
T-3	825	161	20	0.00	87	-14	45	18	198	71	490	392	447	237	あり	0.8		

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 9 9 】

No.	仕上げ 圧延完了 温度(℃)	巻取温度 (℃)	鋼板表層 除去量 (μm)	冷間圧延前の 内部酸化層厚さ (μm)	冷間 圧下率 (%)	冷延板焼鈍						めっき 浸漬後 保持温度 (℃)	スキップ 圧下率 (%)			
						200～400℃		740～900℃		750℃から550℃ までの平均冷却 速度(℃/秒)	冷却停止 温度(℃)			滞留温度 (℃)	滞留時間 (秒)	焼戻し (℃)
						露点(℃)	保持時間(秒)	露点(℃)	保持時間(秒)							
A-4	791	253	39	0.00	16	-14	171	1	327	10	446	452	155	228	なし	0.6
B-4	809	349	33	0.00	76	8	76	-4	200	66	358	538	516	162	あり	0.3
C-4	746	611	82	0.00	74	4	107	-8	226	18	249	396	101	272	あり	0.5
D-4	751	128	96	0.00	44	11	119	14	166	35	188	497	86	396	なし	0.5
E-4	939	132	113	0.00	67	10	146	-14	110	86	300	382	434	199	あり	0.3
F-4	811	546	89	0.00	11	18	68	7	120	78	52	411	265	361	あり	0.5
G-4	740	533	36	0.00	51	14	30	2	246	53	35	539	161	368	あり	0.6
H-4	837	72	93	0.00	86	3	12	4	74	18	408	489	153	222	なし	0.4
I-4	864	77	34	0.00	71	-9	131	-4	218	30	534	479	518	373	なし	0.6
J-4	847	280	2	0.20	75	-5	161	-1	103	69	344	541	124	274	なし	0.6
K-4	940	284	52	0.00	48	13	143	-7	161	43	445	487	57	264	あり	0.8
L-4	759	368	27	0.00	24	-18	72	13	86	96	205	383	557	237	なし	0.4
M-4	889	311	13	0.00	52	-31	96	-9	153	89	479	510	309	190	なし	0.9
N-4	853	487	12	0.00	79	15	65	13	285	48	388	503	294	191	なし	0.6
O-4	865	341	78	0.00	11	-5	57	9	137	94	159	377	50	171	あり	1.0
P-4	818	420	58	0.00	57	-18	89	32	98	84	359	421	340	259	あり	0.8
Q-4	847	144	17	0.00	44	-11	27	3	93	42	335	470	302	345	あり	0.8
R-4	711	194	79	0.00	81	1	148	-2	116	45	143	473	267	221	なし	0.4
S-4	738	337	46	0.00	31	-12	198	17	276	33	257	421	423	302	なし	0.7
T-4	876	132	79	0.00	19	-6	143	12	18	80	64	406	210	386	なし	0.4

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【表 3 - 4】

表3-4

No.	1～10μm深さ 直径0.1μm未満 析出物数密度 (個/μm ²)	10～60μm深さ 固溶C量 (質量%)	TS (MPa)	t-EI (%)	λ (%)	耐LME性	備考
A-2	132	0.09	1224	12.8	17.8	OK	実施例
B-2	8	0.21	1214	11.9	18.7	NG	比較例
C-2	117	0.14	1413	10.3	20.3	OK	実施例
D-2	3	0.28	1426	11.5	18.3	NG	比較例
E-2	130	0.07	1482	11.0	19.3	OK	実施例
F-2	6	0.12	1483	10.0	31.4	NG	比較例
G-2	94	0.13	1566	9.1	27.2	OK	実施例
H-2	97	0.15	1570	11.2	22.2	OK	実施例
I-2	6	0.14	1771	8.4	27.1	NG	比較例
J-2	88	0.10	1408	10.1	29.6	OK	実施例
K-2	5	0.10	1171	14.6	17.9	NG	比較例
L-2	141	0.11	1517	11.2	26.0	OK	実施例
M-2	63	0.07	2203	7.1	10.5	OK	実施例
N-2	9	0.21	1322	11.7	26.3	NG	比較例
O-2	82	0.04	1214	13.7	18.5	OK	実施例
P-2	129	0.09	1604	8.7	25.4	OK	実施例
Q-2	18	0.22	1631	4.6	31.6	NG	比較例
R-2	52	0.03	1226	14.7	17.4	OK	実施例
S-2	5	0.14	1625	10.3	20.7	NG	比較例
T-2	41	0.07	1729	8.6	30.3	OK	実施例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 1 0 1 】

【表 3 - 5】

表3-5

No.	1～10μm深さ 直径0.1μm未満 析出物数密度 (個/μm ²)	10～60μm深さ 固溶C量 (質量%)	TS (MPa)	t-EI (%)	λ (%)	耐LME性	備考
A-3	143	0.09	1255	12.5	18.6	OK	実施例
B-3	102	0.14	1323	11.1	21.9	OK	実施例
C-3	63	0.04	1216	11.7	17.9	OK	実施例
D-3	30	0.09	1821	9.1	20.9	OK	実施例
E-3	124	0.13	1312	12.3	17.4	OK	実施例
F-3	96	0.05	1304	11.1	23.0	OK	実施例
G-3	6	0.13	1834	8.0	29.9	NG	比較例
H-3	135	0.14	1463	11.8	19.7	OK	実施例
I-3	4	0.03	1805	8.3	27.0	NG	比較例
J-3	127	0.05	1556	9.3	36.7	OK	実施例
K-3	121	0.06	1253	13.5	17.1	OK	実施例
L-3	32	0.14	1538	11.3	19.8	OK	実施例
M-3	25	0.10	2232	7.0	18.6	OK	実施例
N-3	21	0.04	1428	11.0	30.2	OK	実施例
O-3	9	0.04	1235	13.5	9.0	NG	比較例
P-3	118	0.05	2040	7.2	18.6	OK	実施例
Q-3	65	0.06	1592	9.8	29.2	OK	実施例
R-3	8	0.13	1228	14.9	17.4	NG	比較例
S-3	47	0.12	1933	8.9	23.2	OK	実施例
T-3	55	0.10	1878	8.1	28.0	OK	実施例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 1 0 2 】

10

20

30

40

50

【表 3 - 6】

表3-6

No.	1～10μm深さ 直径0.1μm未満 析出物数密度 (個/μm ²)	10～60μm深さ 固溶C量 (質量%)	TS (MPa)	t-EI (%)	λ (%)	耐LME性	備考
A-4	7	0.10	1104	14.2	17.3	NG	比較例
B-4	135	0.07	1257	11.6	21.7	OK	実施例
C-4	144	0.24	1392	4.3	22.0	NG	比較例
D-4	77	0.10	1532	10.8	18.4	OK	実施例
E-4	70	0.05	1337	12.2	17.3	OK	実施例
F-4	141	0.14	1454	10.1	30.0	OK	実施例
G-4	29	0.13	1542	9.2	26.4	OK	実施例
H-4	3	0.07	1506	11.6	20.7	NG	比較例
I-4	23	0.07	1659	8.8	26.1	OK	実施例
J-4	5	0.04	1581	9.2	4.2	NG	比較例
K-4	142	0.06	1236	13.7	17.2	OK	実施例
L-4	107	0.09	1345	13.0	17.1	OK	実施例
M-4	6	0.13	2239	7.0	8.0	NG	比較例
N-4	138	0.04	1438	10.9	30.9	OK	実施例
O-4	76	0.04	1253	13.3	19.6	OK	実施例
P-4	3	0.05	2034	7.2	18.8	NG	比較例
Q-4	90	0.05	1492	10.3	27.6	OK	実施例
R-4	77	0.06	1247	15.5	17.9	OK	実施例
S-4	4	0.12	1975	8.8	20.8	NG	比較例
T-4	3	0.22	1826	8.2	28.9	NG	比較例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

【0103】

表3を参照すると、例B-2及びN-2は冷延板焼鈍における740～900の温度域での露点が低かったため、鋼板表層に析出物を十分に生成させることができず、また鋼板表面から10～60μmの深さ領域における固溶C量を十分に低減することができなかった。その結果として耐LME性が低下した。例D-2及びT-4は冷延板焼鈍における740～900の温度域での保持時間が短かったため、同様に鋼板表層に析出物を十分に生成させることができず、また鋼板表面から10～60μmの深さ領域における固溶C量を十分に低減することができなかった。その結果として耐LME性が低下した。例F-2及びM-4は冷延板焼鈍における200～400の温度域での露点が低かったため、鋼板表層に析出物を十分に生成させることができず、耐LME性が低下した。例I-2及びP-4は冷延板焼鈍における740～900の温度域での露点が高かったため、鋼板表層の析出物が粗大化して数密度が小さくなり、耐LME性が低下した。例K-2及びA-4は冷延板焼鈍における740～900の温度域での保持時間が長かったため、同様に鋼板表層の析出物が粗大化して数密度が小さくなり、耐LME性が低下した。

【0104】

例Q-2及びC-4は巻き取り温度が高かったため、鋼板の表層組織に特性の十分な傾斜を付与することができず、耐LME性が低下した。例S-2及びI-3は冷延板焼鈍における200～400の温度域での露点が高かったため、鋼板表層の析出物が粗大化して数密度が小さくなり、耐LME性が低下した。例G-3及びS-4は冷延板焼鈍における200～400の温度域での保持時間が長かったため、同様に鋼板表層の析出物が粗大化して数密度が小さくなり、耐LME性が低下した。例O-3及びJ-4は酸洗による鋼板表層の除去量が少なかったため、鋼板表層の析出物が粗大化して鋼板の表層組織に特性の十分な傾斜を付与することができず、耐LME性が低下した。このような析出物の粗大化は、鋼板表層の除去量が少なかったために完全に除去されずに鋼板表層に残った内部酸化物からの酸素の供給に起因するものと考えられる。例R-3及びH-4は冷延板焼鈍における200～400の温度域での保持時間が短かったため、鋼板表層に析出物を十分に生成させることができず、耐LME性が低下した。

【0105】

これとは対照的に、本発明に係る全ての実施例において、とりわけ巻き取り温度、酸洗による鋼板表層の除去量、冷延板焼鈍の所定の温度域における露点及び保持時間を適切に

制御することにより、高強度でかつ優れた耐 L M E 性に加えて、全伸び及び穴広げ性も改善された鋼板を得ることができた。また、表 3 には特に示していないが、全ての実施例の鋼板表面から 6 0 μ m ~ 板厚 1 / 4 の深さ領域における固溶 C 量は、鋼板表面から 1 0 ~ 6 0 μ m の深さ領域における固溶 C 量よりも高く、より具体的には鋼板表面から 1 0 ~ 6 0 μ m の深さ領域における固溶 C 量の 1 . 2 0 倍以上であった。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

C 2 3 C2/02 (2006.01)

F I

C 2 3 C2/06
C 2 3 C2/40
C 2 3 C2/02

(72)発明者

日本製鉄株式会社内
中野 克哉
東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

鈴木 裕也
東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

塚本 絵里子
東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

審査官 川村 裕二

(56)参考文献

国際公開第 2 0 1 9 / 0 0 3 5 3 9 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 0 9 2 5 2 7 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 8 / 2 3 4 9 3 8 (W O , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

C 2 2 C3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
C 2 1 D1 / 0 0 - 1 1 / 0 0
C 2 3 C2 / 0 6
C 2 3 C2 / 4 0
C 2 3 C2 / 0 2