

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3684895号
(P3684895)

(45) 発行日 平成17年8月17日(2005.8.17)

(24) 登録日 平成17年6月10日(2005.6.10)

(51) Int. Cl.⁷

F I

C 2 1 D 6/00
// C 2 2 C 38/00
C 2 2 C 38/46
C 2 2 C 38/50

C 2 1 D 6/00 1 O 2 J
C 2 2 C 38/00 3 O 2 Z
C 2 2 C 38/46
C 2 2 C 38/50

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願平11-27762	(73) 特許権者	000001258
(22) 出願日	平成11年2月4日(1999.2.4)		J F E スチール株式会社
(65) 公開番号	特開2000-226614 (P2000-226614A)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(43) 公開日	平成12年8月15日(2000.8.15)	(74) 代理人	100116230
審査請求日	平成13年3月21日(2001.3.21)		弁理士 中濱 泰光
		(72) 発明者	猪原 康人
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日 本鋼管株式会社内
		(72) 発明者	橋爪 修司
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日 本鋼管株式会社内
		(72) 発明者	南 雄介
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日 本鋼管株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 w t %、S i : 1 w t % 以下、M n : 0 . 0 5 ~ 0 . 3 w t %
、C r : 1 2 ~ 1 6 w t %、N i : 3 . 5 ~ 6 w t %、M o : 1 . 5 ~ 2 . 5 w t %、V
: 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 w t %、N : 0 . 0 2 w t % 以下を含有して、残部が F e 及び不可
避的不純物からなり、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、A c 3 ~ 9 8 0
の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、(1) 式を満足する温度 (T)
で焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させるこ
とを特徴とする耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方
法。

$A c 1 \quad T \quad A c 1 + (1 / 1 0) \times (A c 3 - A c 1) \quad \dots (1)$

【請求項2】

C : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 w t %、S i : 1 w t % 以下、M n : 0 . 0 5 ~ 0 . 3 w t %
、C r : 1 2 ~ 1 6 w t %、N i : 3 . 5 ~ 6 w t %、M o : 1 . 5 ~ 2 . 5 w t %、V
: 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 w t %、N : 0 . 0 2 w t % 以下を含有し、更に、N b : 0 . 0 1
~ 0 . 1 w t %、T i : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 w t % の 1 種 以上 を 含 有 し て、残部が F e 及び
不可避的不純物からなり、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、A c 3 ~ 9
8 0 の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、(1) 式を満足する温
度 (T) で焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させ
ることを特徴とする耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製

造方法。

$$Ac1 < T \quad Ac1 + (1/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (1)$$

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の化学成分組成を有し、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、 $Ac3 \sim 980$ の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、(2)式を満足する温度($T1$)で1回目の焼戻しを行い、更に、温度($T1$)以下で且つ(3)式を満足する温度($T2$)で2回目の焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させることを特徴とする耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法。

$$Ac1 < T1 \quad Ac1 + (7/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (2)$$

$$Ac1 < T2 \quad Ac1 + (1/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (3)$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法に関し、詳しくは、例えば石油、天然ガスの掘削や輸送等の湿潤炭酸ガスや湿潤硫化水素ガスを含む環境において、高い応力腐食割れ抵抗を有する高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年生産される石油、天然ガスは、湿潤炭酸ガスや湿潤硫化水素ガスを多量に含む場合が増加しており、その掘削、輸送においては従来の炭素鋼に代り、 $13Cr$ ステンレス鋼等のマルテンサイト系ステンレス鋼が用いられるようになった。しかし、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼は、湿潤炭酸ガスに対する耐食性(以下、単に「耐食性」と呼ぶ)は優れているが、湿潤硫化水素ガスに対する耐応力腐食割れ性(以下、単に「耐応力腐食割れ性」と呼ぶ)は十分でなく、強度、靱性、耐食性を維持しつつ、耐応力腐食割れ性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼が望まれていた。

【0003】

強度、靱性、耐食性に加えて、耐応力腐食割れの要求を満たすマルテンサイト系ステンレス鋼として、例えば、特開昭58-199850号公報には、 $C: 0.16 \sim 0.25 \text{ wt} \%$ 、 $Si: 1.0 \text{ wt} \%$ 未満、 $Mn: 1.0 \text{ wt} \%$ 未満、 $Cr: 12.5 \sim 13.5 \text{ wt} \%$ 、 $Ni: 0.3 \sim 3 \text{ wt} \%$ 、 $Mo: 0.5 \sim 3.5 \text{ wt} \%$ 、 $Cu: 0.5 \sim 2 \text{ wt} \%$ を含み、残部がFe及び不可避不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼が開示され、又、特開昭61-207550号公報には、 $C: 0.03 \sim 0.20 \text{ wt} \%$ 、 $Si: 1.0 \text{ wt} \%$ 未満、 $Mn: 1.0 \text{ wt} \%$ 未満、 $Cr: 12.0 \sim 14.0 \text{ wt} \%$ 、 $B: 0.0010 \sim 0.0060 \text{ wt} \%$ を含有し、且つ、 $Mo: 0.5 \sim 4.0 \text{ wt} \%$ 、 $Ni: 0.5 \sim 6.0 \text{ wt} \%$ の1種又は2種を含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼が開示されている。

【0004】

しかしこれらは、極微量の硫化水素ガスを含む環境では耐応力腐食割れ性を示すものの、硫化水素ガス分圧が 0.01 気圧を越える環境では、応力腐食割れが生じるため、硫化水素ガスを多く含む環境では使用できないという問題があった。

【0005】

一方、硫化水素ガス分圧が 0.01 気圧を越える環境での耐応力腐食割れ性を改善したマルテンサイト系ステンレス鋼も提案されており、例えば、特開昭60-174859号公報には、 $C: 0.02 \text{ wt} \%$ 以下、 $Si: 0.50 \text{ wt} \%$ 以下、 $Mn: 0.50 \sim 1.50 \text{ wt} \%$ 、 $S: 0.005 \text{ wt} \%$ 以下、 $Cr: 12 \sim 15 \text{ wt} \%$ 、 $Ni: 3.5 \sim 6 \text{ wt} \%$ 、 $Mo: 0.5 \sim 3 \text{ wt} \%$ を含有し、残部がFe及び不可避不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼が開示され、又、特開昭62-54063号公報には、 $C: 0.001 \sim 0.05 \text{ wt} \%$ 、 $Si: 1.0 \text{ wt} \%$ 以下、 $Mn: 0.3 \sim 2.0 \text{ wt} \%$ 、 $Cr: 1$

10

20

30

40

50

1.0 ~ 15.0 wt%、Ni : 3.0 ~ 6.0 wt%、Ca : 0.0005 ~ 0.005 wt%、Al : 0.01 ~ 0.1 wt%、O : 0.0040 wt%以下、を含み、P : 0.01 wt%以下、S : 0.005 wt%以下であって、更に、N : 0.01 ~ 0.20 wt%とMo : 0.05 ~ 3.0 wt%のうち1種以上を含有して、残部はFe及び不可避不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼が開示されている。しかし、これらの鋼も硫化水素ガスによる応力腐食割れを完全に防止できるものではない。

【0006】

更に、強度について検討すると、上述したマルテンサイト系ステンレス鋼は、何れも高強度化を試みると靱性及び耐応力腐食割れ性が著しく劣化し、そのため、強度又は靱性と耐応力腐食割れ性とのどちらか一方を犠牲にせざるを得ないという問題もあった。そのため、例えば高強度、耐応力腐食割れ性、耐食性、高靱性が同時に要求される高深度の油井管には適用できないという難点があった。

10

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上述した従来技術における問題点を解決するためになされたもので、その目的は、マルテンサイト系ステンレス鋼の耐食性を維持しつつ、強度、耐応力腐食割れ性、及び靱性を同時に改善することにより、硫化水素ガスを多く含む環境でも応力腐食割れを生じることなく使用できる高靱性のマルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法を提供することである。ここで、目的とする性能は炭酸ガス、硫化水素ガスを含む石油、天然ガスの掘削、輸送用鋼材に要求される性能に鑑み、以下の如くとした。

20

【0008】

(1) 強度 : 0.2%耐力が655MPa以上、(2) 靱性 : -20 でのシャルピー・フルサイズ試験片での吸収エネルギー値(以下、「シャルピー衝撃値」と呼ぶ)が180J以上、(3) 耐食性 : 30気圧のCO₂環境下の180 の5%NaCl溶液中で腐食速度が0.5mm/y以下、(4) 耐応力腐食割れ性 : 0.1気圧の硫化水素ガスを飽和させた5%NaCl溶液中で試験片に0.2%耐力の80%の応力を負荷して、720時間以上破断しないこと。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明者等は、上記課題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、以下の知見を得るに至った。

30

【0010】

マルテンサイト系ステンレス鋼の耐食性向上にはCrの増加が有功である。しかしCrの増加は、一方で - フェライト相を生成させて、強度及び靱性を劣化させる。そこで、オーステナイト生成元素であるNiを増加して、 - フェライト相の生成を抑制する方法があるが、Niの増加はAc1の変態点温度を下げて焼戻し温度に制約を及ぼすため、その上限に制約がある。Cの増加も - フェライト相の生成抑制に有効であるが、焼戻し時に炭化物が析出して、却って耐食性及び耐応力腐食割れ性を劣化させるため、その含有量はむしろ制限されるべきである。

【0011】

一方、一般に鋼を高強度化させると、靱性及び耐応力腐食割れ性が劣化するが、Vを適量含有させ、且つ熱処理によりVの炭化物をこのステンレス鋼の基地に微細な析出物として分散させることにより、靱性及び耐応力腐食割れ性を劣化させることなく高強度化することができる。又、マルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させることにより、靱性と耐食性を向上させることができる。そして、微細なV炭化物を均一に分散析出させると同時に、マルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させるためには、焼戻し条件を制御することが特に重要である。

40

【0012】

本発明は、これらの知見に基づきなされたもので、第1の発明による耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法は、C : 0.005 ~ 0.05 w

50

t%、Si：1wt%以下、Mn：0.05～0.3wt%、Cr：12～16wt%、Ni：3.5～6wt%、Mo：1.5～2.5wt%、V：0.01～0.05wt%、N：0.02wt%以下を含有して、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、Ac3～980の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、下記の(1)式を満足する温度(T)で焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させることを特徴とするものである。

【0013】

第2の発明による耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法は、C：0.005～0.05wt%、Si：1wt%以下、Mn：0.05～0.3wt%、Cr：12～16wt%、Ni：3.5～6wt%、Mo：1.5～2.5wt%、V：0.01～0.05wt%、N：0.02wt%以下を含有し、更に、Nb：0.01～0.1wt%、Ti：0.01～0.1wt%の1種以上を含有して、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、Ac3～980の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、下記の(1)式を満足する温度(T)で焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させることを特徴とするものである。

【0014】

第3の発明による耐応力腐食割れ性に優れた高靱性マルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法は、第1の発明又は第2の発明に記載の化学成分組成を有し、熱間加工されたマルテンサイト系ステンレス鋼を、Ac3～980の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで、下記の(2)式を満足する温度(T1)で1回目の焼戻しを行い、更に、温度(T1)以下で且つ下記の(3)式を満足する温度(T2)で2回目の焼戻しを行い、焼戻し後のマルテンサイト相中にオーステナイト相を残留させることを特徴とするものである。

$$Ac1 < T \quad Ac1 + (1/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (1)$$

$$Ac1 < T1 \quad Ac1 + (7/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (2)$$

$$Ac1 < T2 \quad Ac1 + (1/10) \times (Ac3 - Ac1) \quad \dots (3)$$

尚、(1)～(3)式において、Ac1及びAc3はマルテンサイト系ステンレス鋼の化学成分組成により定まる変態点温度である。

【0015】

以下に、本発明においてマルテンサイト系ステンレス鋼の化学成分組成及び熱処理条件を上述したように限定した理由を、それぞれの作用と共に説明する。

【0016】

(1) 化学成分組成

(a) C：Cは強力なオーステナイト生成元素であり、又、高強度を得るためにも欠かせない元素である。しかし、焼戻し時にCrと結合して炭化物となって析出し、耐食性、耐応力腐食割れ性、及び靱性を劣化させる。Cの含有量が0.05wt%を越えると、この炭化物による劣化が顕著になる。一方、含有量が0.005wt%未満では十分な強度が得られない。従って、C含有量は0.005～0.05wt%の範囲内に限定しなければならない。

【0017】

(b) Si：Siは脱酸剤として必要な元素であるが、強力なフェライト生成元素でもあり、1wt%を越えて含有させると、フェライト相の生成を助長させる。従って、Si含有量は1wt%以下に限定しなければならない。

【0018】

(c) Mn：Mnは脱酸、脱硫剤として有効であると共に、フェライト相の出現を抑えるオーステナイト生成元素である。しかし、Mnは耐応力腐食割れ性に対して有害であり、0.3wt%以下にする必要がある。一方、0.05wt%未満では脱酸が不十分となり、鋼中の介在物が増加する。従って、Mn含有量は0.05～0.3wt%の範囲内

10

20

30

40

50

に限定しなければならない。

【0019】

(d) Cr : Cr はマルテンサイト系ステンレス鋼を構成する基本的な元素で、しかも耐食性を発現する重要な元素であるが、含有量が 12 wt % 未満では十分な耐食性が得られず、一方、16 wt % を越えると他の合金成分をどのように調整しても - フェライト相の生成量が増加して、強度及び靱性が劣化する。従って、Cr 含有量は 12 ~ 16 wt % の範囲内に限定しなければならない。

【0020】

(e) Ni : Ni は耐食性を向上させると共に、オーステナイトの生成に極めて有効な元素であるが、3.5 wt % 未満ではその効果が少なく、一方、含有量が増加すると Ac1 変態点を下げて、焼戻し温度に制約を及ぼすため、6 wt % 以下にする必要がある。従って、Ni 含有量は 3.5 ~ 6 wt % の範囲内に限定しなければならない。

10

【0021】

(f) Mo : Mo は特に耐応力腐食割れ性及び耐食性に有効な元素であるが、1.5 wt % 未満ではその効果が少なく、一方、2.5 wt % を越えると過剰な - フェライトを出現させる。従って、Mo 含有量は 1.5 ~ 2.5 wt % の範囲内に限定しなければならない。

【0022】

(g) V : V は強力な炭化物生成元素であり、微細な炭化物を析出させて結晶粒を微細化し、耐応力腐食割れ性を向上させる。又、微細な炭化物の析出は強度向上にも寄与する。しかし、フェライト生成元素でもあり、- フェライト相を増加させる。含有量が 0.01 wt % 未満では耐応力腐食割れ性の向上効果が現れず、一方、0.05 wt % を越えると、その効果は飽和すると共に - フェライト相が増加する。従って、V 含有量は 0.01 ~ 0.05 wt % の範囲内に限定しなければならない。

20

【0023】

(h) N : N は耐食性向上に有害な元素であるが、オーステナイト生成元素でもある。0.02 wt % を越えて含有させると、焼戻し時に窒化物となって析出し、耐食性、耐応力腐食割れ性、及び靱性を劣化させる。従って、N 含有量は 0.02 wt % 以下に限定しなければならない。

【0024】

(i) 付加成分としての Nb 及び Ti : Nb 及び Ti は強力な炭化物生成元素であり、微細な炭化物を析出させて結晶粒を微細化し、耐応力腐食割れ性を向上させる。しかし、共にフェライト生成元素でもあり、- フェライト相を増加させる。Nb 及び Ti の含有量が 0.01 wt % 未満では耐応力腐食割れ性の向上効果が現れず、一方、0.10 wt % を越えると、その効果は飽和すると共に - フェライト相が増加する。従って、Nb 含有量及び Ti 含有量は、共に 0.01 ~ 0.10 wt % の範囲内に限定することが好ましい。

30

【0025】

(2) 熱処理条件

(a) オーステナイト化温度 : 加熱温度が Ac3 温度より低いと、組織全体が均一にはオーステナイト化されないため、均質な焼入れマルテンサイト組織が得られない。この段階で均質なマルテンサイト組織が得られていないと、これ以降の熱処理によっても焼戻し効果が十分に得られないばかりか、最終製品の特性も安定しない。一方、加熱温度が 980 を越えると、結晶粒が粗大化して十分な強度が得られないばかりでなく、靱性が劣化する。従って、オーステナイト化温度は Ac3 ~ 980 の範囲内に限定しなければならない。

40

【0026】

(b) 焼戻し温度 (T) : 焼戻し処理は、V の微細な炭化物を均一に分散析出させて高強度化させると共に、オーステナイト相を残留させて、靱性及び耐応力腐食割れ性を向上させるために必要である。しかし、焼戻し温度 (T) が (1) 式の右辺を越えると、変態し

50

たオーステナイト相全てが冷却時に全て新たに生成するフレッシュ・マルテンサイト相となり、目的とするオーステナイト相の残留が発生しない。(1)式を満足する温度域に加熱すると、オーステナイト相に変態する割合が少ないため、鋼中の化学成分の拡散によりオーステナイト相の安定化が起こり、冷却時にマルテンサイト相への変態が起こらず、オーステナイト相が残留する。一方、焼戻し温度(T)がAc1温度より低くなると、焼入れマルテンサイト相が焼戻しマルテンサイト相となるだけで、やはりオーステナイト相は残留せず、靱性及び耐応力腐食割れ性の向上が得られない。従って、焼戻し温度(T)は(1)式を満足する範囲内に限定しなければならない。

【0027】

(c) 2段焼戻し時の焼戻し温度(T1)及び焼戻し温度(T2)：焼戻し処理を2回 10
行う2段焼戻しは、より多くのオーステナイト相を残留させるための有効な方法である。
1回目の焼戻し温度(T1)の下限は、1段焼戻しの際の焼戻し温度(T)の下限と同一
理由で同一温度であるが、フレッシュ・マルテンサイト相が形成されても2回目の焼戻し
があるため、その上限は焼戻し温度(T)の上限より高い範囲としても良く、従って、上
限を(2)式の右辺とした。2回目の焼戻し温度(T2)の上限は、フレッシュ・マルテ
ンサイト相が生成しない温度とする必要があり、1段焼戻しの際の焼戻し温度(T)の上
限と同等であるが、1回目の焼戻し温度(T1)を越えると、残留オーステナイト相が減
少してしまうため、1回目の焼戻し温度(T1)以下の温度で、且つ、フレッシュ・マル
テンサイト相が生成しない温度とする必要がある。一方、1回目の焼戻し時に鋼中の化学
成分の拡散が生じているため、2回目の焼戻しではAc1温度以下でも残留オーステナイト 20
相を得ることができ、その下限はAc1温度より20 低い温度であるが、下限値は、
1回目と同様、Ac1温度とする。従って、1回目の焼戻し温度(T1)は(2)式を満
足する範囲内に限定しなければならない、2回目の焼戻し温度(T2)は焼戻し温度(T1
)以下で、且つ(3)式を満足する範囲内に限定しなければならない。

【0028】

【発明の実施の形態】

転炉、電気炉、及び、炉外精錬炉等により上記化学成分組成に溶製された溶鋼を普通造塊
法又は連続鑄造法により鋼片にする。それを、熱間加工により鋼板又は継目無鋼管に製造
した後、Ac3~980 の範囲に加熱してオーステナイト化した後冷却し、次いで焼戻
し処理を行う。焼戻し処理は1回の焼戻し処理で熱処理を完了する1段焼戻しと、2回 30
の焼戻し処理を行う2段焼戻しとがあり、目標とする製品特性を考慮して、どちらかを選択
する。一般的には、高靱性を確保する場合には2段焼戻しを選択し、高強度を確保する場
合には1段焼戻しを選択すれば良い。

【0029】

1段焼戻しの場合には、(1)式を満足する焼戻し温度(T)で焼戻し、2段焼戻しの場
合には、1回目の焼戻し温度を(2)式を満足する焼戻し温度(T1)で行い、2回目の
焼戻し温度(T2)は1回目の焼戻し温度(T1)以下で、且つ(3)式を満足する範囲
とする。尚、焼戻し温度を決めるAc1温度及びAc3温度は、溶製されたマルテンサイ
ト系ステンレス鋼の化学成分組成から予め定めておくこととする。

【0030】

上記溶製の際に、不可避不純物として硫黄(S)及び燐(P)が残留する。これらは何れ
も鋼の熱間加工性及び耐応力腐食割れ性を劣化させる元素であり、少ない程好ましい。し
かし、本発明者らの経験では、Sは0.01wt%以下、Pは0.04wt%以下であれば、本発明の目的とする耐応力腐食割れ性を確保できると共に、熱間圧延鋼板及び継目無
鋼管の製造に支障を来すことがないので、この程度まで低減すれば十分である。

【0031】

このように、Crの増加による金属組織の制約を考慮しつつ、低C高Cr系のマルテンサ
イト系ステンレス鋼にVを一定量含有させ、且つ熱処理条件を一定範囲内に調整して、V
の炭化物を粒内に均一に分散析出させると同時に、オーステナイト相を残留させてマルテ
ンサイト系ステンレス鋼を製造することで、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼では実 50

現し得なかった高靱性、高強度で、且つ、耐応力腐食割れ性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼を製造することが可能となる。

【0032】

【実施例】

12種類の化学成分組成のマルテンサイト系ステンレス鋼を真空溶解炉により溶製し、鋼片とした後、この鋼片を熱間圧延にて厚み12mmの鋼板とした。表1に、これら12種類の供試鋼の化学成分組成を示す。表1に示すように、鋼No.1~6の化学成分組成は本発明の範囲内であるのに対し、鋼No.7はMnとMoが、鋼No.8はMnとVが、鋼No.9はCとNが、鋼No.10はNiが、鋼No.11はCrとMoとVが、又、鋼No.12はNiが、それぞれ本発明の範囲を外れている。

10

【0033】

【表1】

供試鋼の化学成分組成

鋼 No.	化学成分														備考
	(主要成分)										(選択成分、その他の成分)				
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	V	Nb	Ti	Al	Cu	
1	0.024	0.22	0.19	0.010	0.005	4.53	12.4	1.69	0.012	0.016	-	-	0.013	-	-
2	0.023	0.18	0.28	0.005	0.002	3.76	12.5	2.02	0.010	0.021	0.04	-	0.009	-	0.002
3	0.034	0.19	0.13	0.003	0.002	5.15	12.4	2.12	0.009	0.039	-	-	0.019	0.08	0.001
4	0.019	0.25	0.22	0.012	0.002	4.29	12.1	2.24	0.011	0.022	-	-	0.011	-	0.002
5	0.012	0.21	0.23	0.007	0.002	5.29	12.5	2.18	0.016	0.029	-	0.07	0.009	-	0.001
6	0.015	0.19	0.19	0.005	0.002	4.92	13.9	1.99	0.008	0.036	0.05	0.05	0.021	-	0.002
7	0.025	0.25	0.51	0.015	0.004	4.41	12.4	0.44	0.009	0.024	-	-	0.033	-	0.003
8	0.038	0.41	0.33	0.011	0.004	5.43	12.1	2.13	0.012	-	-	-	0.015	-	0.002
9	0.067	0.26	0.20	0.008	0.005	3.55	12.6	1.66	0.029	0.025	-	-	0.018	0.09	0.001
10	0.006	0.22	0.23	0.013	0.002	2.01	13.4	1.89	0.017	0.031	-	-	0.024	-	0.003
11	0.016	0.22	0.26	0.019	0.003	3.87	11.2	2.88	0.019	0.071	0.05	-	0.016	-	0.001
12	0.025	0.21	0.25	0.016	0.003	6.99	12.8	2.12	0.012	0.029	-	0.04	0.011	-	0.002

【0034】

その後、これらの鋼板を加熱してオーステナイト化した後空冷し、次いで、1回当たり30分間の焼戻し処理を行った後、残留オーステナイト量の測定、機械的性質、耐食性、及び耐応力腐食割れ性を調査した。その際、鋼の化学成分組成と熱処理条件との組み合わせを変更して、合計19水準の試験を行った。表2に19水準の各試験における供試鋼のAc1温度、Ac3温度、熱処理温度、及び調査結果を示す。機械的性質、耐食性、及び耐応力腐食割れ性の調査は、前述した条件下で実施した。尚、表2において、熱処理温度の欄に2つの温度を記入した試験は1段焼戻しを行った試験で、最初の温度がオーステナイト

10

20

30

40

50

化温度を表わし、後段の温度が焼戻し温度（T）を表わしており、又、熱処理温度の欄に3つの温度を記入した試験は2段焼戻しを行った試験で、最初の温度がオーステナイト化温度を表わし、中段の温度が焼戻し温度（T1）を表わし、後段の温度が焼戻し温度（T2）を表わしている。

【0035】

【表2】

変態温度、熱処理条件及び試験結果

試験No.	鋼No.	変態温度(°C)		熱処理温度(°C)	残留オーステナイト量(%)	0.2%耐力(Mpa)	シャルピー衝撃値(J.at-20°C)	腐食速度(mm/y)	SSC(720時間後)	総合判定	備考
		Ac1	Ac3								
1	1	645	792	920/650	6.5	799	224	○	破断せず	○	実施例
2	1			920/690/640	13.3	668	230	○	破断せず	○	実施例
3	2	670	807	920/680	9.8	804	203	○	破断せず	○	実施例
4	3	628	775	920/630	6.8	762	234	○	破断せず	○	実施例
5	3			920/630/610	16.7	660	241	○	破断せず	○	実施例
6	4	656	781	950/660	4.6	782	212	○	破断せず	○	実施例
7	5	638	761	950/640	5.5	771	201	○	破断せず	○	実施例
8	6	642	766	950/650	4.9	782	184	○	破断せず	○	実施例
9	6			800/650	6.3	803	180	○	破断せず	○	実施例
10	7	604	743	920/610	7.1	809	257	○	破断	×	比較例
11	8	617	755	920/620	3.8	792	199	×	破断	×	比較例
12	9	671	819	920/680	6.5	754	203	×	破断せず	×	比較例
13	10	710	822	950/710	0.0	688	176	×	破断	×	比較例
14	11	661	758	950/670	2.1	723	185	×	破断	×	比較例
15	12	570	708	950/620	0.0	805	195	○	破断	×	比較例
16	1	645	792	920/680	0.0	812	178	○	破断	×	比較例
17	3	628	775	920/690	0.0	793	214	○	破断	×	比較例
18	6	642	766	800/600	0.0	815	165	×	破断	×	比較例
19	6			950/650/670	2.9	706	243	○	破断	×	比較例

注) 腐食速度 (○: 0.5mm/y 以下、×: 0.5を越え1.0mm/y 以下、××: 1.0mm/y 越え)

【0036】

オーステナイト化温度は全ての試験において本発明の範囲内とし、又、焼戻し温度は試験

№．15～19を除き本発明の範囲内とした。試験№．15～18は焼戻し温度が本発明の範囲外であり、試験№．19は2回目の焼戻し温度が本発明の範囲外である。

【0037】

表2に示すように、本発明の範囲内の化学成分組成の鋼を、本発明の範囲内の熱処理条件で処理することにより、0.2%耐力の目標値及びシャルピー衝撃値の目標値を上回り、又、腐食速度も目標値を達成すると共に応力腐食割れ(SSC)も発生せず、耐食性及び耐力腐食割れ性も目標値を達成した。一方、化学成分組成が本発明の範囲内であっても、本発明の範囲外の熱処理条件で処理した場合、及び、化学成分組成が本発明の範囲外の場合には、耐食性や耐力腐食割れ性が目標値を達成していなかった。尚、表2の備考欄に、本発明の範囲内の化学成分組成の鋼を本発明の範囲内の熱処理条件で処理した試験を実施例とし、それ以外の試験を比較例として表示した。

10

【0038】

【発明の効果】

本発明では、化学成分組成及び熱処理条件を特定してマルテンサイト系ステンレス鋼を製造するので、高靱性及び高強度を維持しつつ、炭酸ガス腐食に対する耐食性はもとより、硫化水素ガスを多量に含む環境での耐力腐食割れ性に極めた優れたマルテンサイト系ステンレス鋼を製造することが可能となる。

フロントページの続き

(72)発明者 正村 克身

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

審査官 井上 猛

(56)参考文献 特開2000-160300(JP,A)

特開2000-178692(JP,A)

特開平07-041909(JP,A)

特開平03-120337(JP,A)

特開昭60-026616(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

C21D 6/00

C22C 38/00-38/60