

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-209461  
(P2010-209461A)

(43) 公開日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C 2 2 C 38/00 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/00 3 0 1 F	4 E 0 2 8
<b>C 2 2 C 38/14 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/14	
<b>C 2 2 C 38/58 (2006.01)</b>	C 2 2 C 38/58	
<b>B 2 1 B 3/00 (2006.01)</b>	B 2 1 B 3/00 A	
<b>B 2 1 C 37/08 (2006.01)</b>	B 2 1 C 37/08 E	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2009-253157 (P2009-253157)	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(22) 出願日	平成21年11月4日(2009.11.4)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(31) 優先権主張番号	特願2009-30280 (P2009-30280)	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
(32) 優先日	平成21年2月12日(2009.2.12)	(74) 代理人	100087413 弁理士 古賀 哲次
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100113918 弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100140121 弁理士 中村 朝幸
		(74) 代理人	100111903 弁理士 永坂 友康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板及び高強度ラインパイプ用鋼管

(57) 【要約】

【課題】石油、天然ガス等の輸送用ラインパイプ等に使用される鋼管に最適な、耐HIC性に優れたラインパイプ用鋼板及びラインパイプ鋼管を提供する。

【解決手段】質量%で、C：0.02～0.08%、Si：0.01～0.5%、Mn：1.2～1.6%、Nb：0.001～0.10%、N：0.0010～0.0050%、Ca：0.0001～0.0050%を含み、P：0.01%以下、S：0.0020%以下、Ti：0.030%以下、Al：0.030%以下、O：0.0035%以下に制限し、残部がFe及び不可避免的不純物元素からなり、S/Ca<0.5を満足し、更に、最大Mn偏析度：2.0以下、Nb偏析度：4.0以下、Ti偏析度：4.0以下に制限する。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

質量%で、

C : 0.02 ~ 0.08 %、  
 Si : 0.01 ~ 0.5 %、  
 Mn : 1.2 ~ 1.6 %、  
 Nb : 0.001 ~ 0.10 %、  
 N : 0.0010 ~ 0.0050 %、  
 Ca : 0.0001 ~ 0.0050 %

を含み、

P : 0.01 % 以下、  
 S : 0.0020 % 以下、  
 Ti : 0.030 % 以下、  
 Al : 0.030 % 以下、  
 O : 0.0035 % 以下

に制限し、S、Caの含有量が、

$S / Ca < 0.5$

を満足し、残部がFe及び不可避的不純物元素からなり、

更に、

最大Mn偏析度：2.0以下、  
 Nb偏析度：4.0以下、  
 Ti偏析度：4.0以下

に制限したことを特徴とする耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板。

## 【請求項2】

質量%で、

Ni : 0.01 ~ 2.0 %、  
 Cu : 0.01 ~ 1.0 %、  
 Cr : 0.01 ~ 1.0 %、  
 Mo : 0.01 ~ 0.60 %、  
 W : 0.01 ~ 1.0 %、  
 V : 0.01 ~ 0.10 %、  
 Zr : 0.0001 ~ 0.050 %、  
 Ta : 0.0001 ~ 0.050 %、  
 B : 0.0001 ~ 0.0020 %

の1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする請求項1に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板。

## 【請求項3】

質量%で

REM : 0.0001 ~ 0.01 %、  
 Mg : 0.0001 ~ 0.01 %、  
 Y : 0.0001 ~ 0.005 %、  
 Hf : 0.0001 ~ 0.005 %、  
 Re : 0.0001 ~ 0.005 %

のうち1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板。

## 【請求項4】

中心偏析部の最高硬度が300HV以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板。

## 【請求項5】

母材が、質量%で、

10

20

30

40

50

C : 0.02 ~ 0.08 %、  
 Si : 0.01 ~ 0.5 %、  
 Mn : 1.2 ~ 1.6 %、  
 Nb : 0.001 ~ 0.10 %、  
 N : 0.0010 ~ 0.0050 %、  
 Ca : 0.0001 ~ 0.0050 %

を含み、

P : 0.010 % 以下、  
 S : 0.002 % 以下、  
 Ti : 0.030 % 以下、  
 Al : 0.030 % 以下、  
 O : 0.0035 % 以下

10

に制限し、S、Caの含有量が、

$S / Ca < 0.5$

を満足し、残部がFe及び不可避免的不純物元素からなり、

更に、母材の

最大Mn偏析度：2.0以下、

Nb偏析度：4.0以下、

Ti偏析度：4.0以下

に制限したことを特徴とする耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

20

【請求項6】

母材が、質量%で、

Ni : 0.01 ~ 2.0 %、

Cu : 0.01 ~ 1.0 %、

Cr : 0.01 ~ 1.0 %、

Mo : 0.01 ~ 0.60 %、

W : 0.01 ~ 1.0 %、

V : 0.01 ~ 0.10 %、

Zr : 0.0001 ~ 0.050 %、

Ta : 0.0001 ~ 0.050 %、

B : 0.0001 ~ 0.0020 %

30

の1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする請求項5に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

【請求項7】

母材が、質量%で、

REM : 0.0001 ~ 0.01 %、

Mg : 0.0001 ~ 0.01 %、

Y : 0.0001 ~ 0.005 %、

Hf : 0.0001 ~ 0.005 %、

Re : 0.0001 ~ 0.005 %

40

のうち1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする請求項5又は請求項6に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

【請求項8】

母材の中心偏析部の最高硬度が300HV以下であることを特徴とする請求項5～7のいずれか1項に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、石油、天然ガス等の輸送用ラインパイプ等の用途に最適な耐水素誘起割れ性(耐HIC性という。)に優れたラインパイプ用鋼板及びラインパイプ用鋼管に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

水分を含有した硫化水素 ( $H_2S$ ) が多く含まれる石油、天然ガス等の輸送用ラインパイプでは、水素誘起割れ (HIC という。) の発生が懸念される。これは、水分を含有した  $H_2S$  環境 (サワー環境 という。) において、鋼中に表面から水素が侵入しやすいためである。HIC は、特に、鋼の中心偏析部に存在する、延伸化した MnS、集積した Ti や Nb の炭窒化物、又は酸化物集積帯における酸化物系介在物など、鋼中の欠陥の周りに集積した水素に起因している。

## 【0003】

即ち、サワー環境では、鋼中に侵入した水素が、欠陥の周囲に集積してガスとなり、その圧力が鋼の破壊靱性値 ( $K_{IC}$ ) を超えた場合に、割れが発生する。更に、鋼の中心偏析部、介在物の周辺などが硬化していると割れは伝播しやすくなる。したがって、従来より、サワー環境で使用されるラインパイプでは、延伸化した MnS の生成、Ti、Nb の炭窒化物の集積や、酸化物の集積の抑制、あるいは中心偏析の硬化相の形成を抑制するなど、対策が講じられている。

10

## 【0004】

例えば、Mn は鋼板の中心に偏析しやすい元素であり、Mn の偏析を抑制する方法が提案されている (例えば、特許文献 1 ~ 3)。特許文献 1 には、鋼中の平均 Mn 含有量に対する偏析部の Mn 含有量の比を抑制した鋼板が提案されている。また、特許文献 2 及び 3 には、Mn 偏析スポットの大きさに加えて、偏析部の P 濃度を限定し、更に Ca を活用した高強度ラインパイプが提案されている。

20

## 【0005】

また、Mn の偏析に加えて、Nb の偏析にも着目した、耐 HIC 性に優れる熱延鋼板が提案されている (例えば、特許文献 4)。更に、Ti、Nb の炭化物、窒化物などの介在物を抑制する方法が提案されている (例えば、特許文献 5、6)。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献 1】特開平 6 - 220577 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 256894 号公報

【特許文献 3】特開平 6 - 271974 号公報

【特許文献 4】特開 2002 - 363689 号公報

【特許文献 5】特開 2006 - 63351 号公報

【特許文献 6】特開 2008 - 7841 号公報

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

従来より、Mn の偏析の抑制や Ca を利用した MnS の形態制御に関する開発は盛んに行われていたが、(偏析部の最大 Mn 含有量) / (鋼中の平均 Mn 含有量) や、Mn 偏析スポットの大きさを制御するだけでは、HIC を完全に防止することができず、より厳密に制御する必要があることがわかった。

40

## 【0008】

更に、Mn の偏析を解消すると Nb の偏析が問題になった。この Nb の偏析についても、(偏析部の最大 Nb 含有量) / (鋼中の平均 Nb 含有量) の制御では不十分であり、より厳密に制御する必要があることがわかった。また、Nb - Ti - C - N 系の介在物の長さや、(Ti, Nb) (C, N) 系介在物の面密度及び長さを制御しても、HIC の発生を防止することができなかった。

## 【0009】

本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、石油、天然ガス等の輸送用ラインパイプ等に使用される鋼管に最適な、耐 HIC 性に優れたラインパイプ用鋼板及びラ

50

インパイブ鋼管の提供を課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、引張り強度が500MPa以上の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイブ用鋼板及び高強度ラインパイブ用鋼管を得るための鋼材が満足すべき条件について鋭意研究を行い、新しい超高強度ラインパイブ用鋼板及び高強度ラインパイブ用鋼管を発明するに至った。本発明の要旨は以下のとおりである。

【0011】

(1) 質量%で、

C : 0.02 ~ 0.08 %、  
Si : 0.01 ~ 0.5 %、  
Mn : 1.2 ~ 1.6 %、  
Nb : 0.001 ~ 0.10 %、  
N : 0.0010 ~ 0.0050 %、  
Ca : 0.0001 ~ 0.0050 %

10

を含み、

P : 0.01 % 以下、  
S : 0.0020 % 以下、  
Ti : 0.030 % 以下、  
Al : 0.030 % 以下、  
O : 0.0035 % 以下

20

に制限し、S、Caの含有量が、

$S / Ca < 0.5$

を満足し、残部がFe及び不可避的不純物元素からなり、

更に、

最大Mn偏析度：2.0以下、  
Nb偏析度：4.0以下、  
Ti偏析度：4.0以下

に制限したことを特徴とする耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイブ用鋼板。

30

(2) 質量%で、

Ni : 0.01 ~ 2.0 %、  
Cu : 0.01 ~ 1.0 %、  
Cr : 0.01 ~ 1.0 %、  
Mo : 0.01 ~ 0.60 %、  
W : 0.01 ~ 1.0 %、  
V : 0.01 ~ 0.10 %、  
Zr : 0.0001 ~ 0.050 %、  
Ta : 0.0001 ~ 0.050 %、  
B : 0.0001 ~ 0.0020 %

の1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする上記(1)に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイブ用鋼板。

40

(3) 質量%で

REM : 0.0001 ~ 0.01 %、  
Mg : 0.0001 ~ 0.01 %、  
Y : 0.0001 ~ 0.005 %、  
Hf : 0.0001 ~ 0.005 %、  
Re : 0.0001 ~ 0.005 %

のうち1種又は2種以上を、更に含有することを特徴とする上記(1)又は上記(2)に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイブ用鋼板。

(4) 中心偏析部の最高硬度が300HV以下であることを特徴とする上記(1) ~ (3)

50

) のいずれか 1 項に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼板。

【0012】

(5) 母材が、質量%で、

C : 0.02 ~ 0.08 %、  
 Si : 0.01 ~ 0.5 %、  
 Mn : 1.2 ~ 1.6 %、  
 Nb : 0.001 ~ 0.10 %、  
 N : 0.0010 ~ 0.0050 %、  
 Ca : 0.0001 ~ 0.0050 %

を含み、

P : 0.010 % 以下、  
 S : 0.0020 % 以下、  
 Ti : 0.030 % 以下、  
 Al : 0.030 % 以下、  
 O : 0.0035 % 以下

に制限し、S、Caの含有量が、

$S / Ca < 0.5$

を満足し、残部が Fe 及び不可避的不純物元素からなり、

更に、母材の

最大 Mn 偏析度 : 2.0 以下、

Nb 偏析度 : 4.0 以下、

Ti 偏析度 : 4.0 以下

に制限したことを特徴とする耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

(6) 母材が、質量%で、

Ni : 0.01 ~ 2.0 %、  
 Cu : 0.01 ~ 1.0 %、  
 Cr : 0.01 ~ 1.0 %、  
 Mo : 0.01 ~ 0.60 %、  
 W : 0.01 ~ 1.0 %、  
 V : 0.01 ~ 0.10 %、  
 Zr : 0.0001 ~ 0.050 %、  
 Ta : 0.0001 ~ 0.050 %、  
 B : 0.0001 ~ 0.0020 %

の 1 種又は 2 種以上を、更に含有することを特徴とする上記 (5) に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

(7) 母材が、質量%で、

REM : 0.0001 ~ 0.01 %、  
 Mg : 0.0001 ~ 0.01 %、  
 Y : 0.0001 ~ 0.005 %、  
 Hf : 0.0001 ~ 0.005 %、  
 Re : 0.0001 ~ 0.005 %

のうち 1 種又は 2 種以上を、更に含有することを特徴とする上記 (5) 又は上記 (6) に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

(8) 母材の中心偏析部の最高硬度が 300 Hv 以下であることを特徴とする上記 (5) ~ (7) のいずれか 1 項に記載の耐水素誘起割れ性に優れた高強度ラインパイプ用鋼管。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、Mn、Nb、Ti の偏析度が低下し、中心偏析部の最高硬さの上昇が抑制され、耐水素誘起割れ性に優れたラインパイプ用鋼板及びラインパイプ用鋼管の製造が可能であるなど、産業上の貢献が極めて顕著である。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】SとCaの含有量の比S/CaとHIC試験におけるCARとの関係を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明者らは、種々のラインパイプ用鋼板を用いて、NACE (National Association of Corrosion and Engineer) 試験を行い、HICの発生の有無を評価した。NACE試験は、5% NaCl 溶液 + 0.5% 酢酸、pH 2.7の溶液中に硫化水素ガスを飽和させて、96時間後に割れが生成するかどうかを調査する試験方法である。

10

【0016】

試験後、割れが発生した鋼板から試験片を採取し、HICの発生場所を詳細に観察した。その結果、大きく分けて、以下の3つのHICの発生箇所が観察された。即ち、1) 延伸化したMnS、2) 集積したTi、Nbの炭窒化物、3) 集積した酸化物、である。更に、検討を重ねた結果、これらの3つの全てを抑制すると、ラインパイプ用鋼板及びラインパイプ用鋼管のHICの発生を顕著に防止できることを見出した。

【0017】

まず、延伸化した粗大なMnSを抑制するためには、次の条件を満たすことが必要である。S量を0.002%未満すること、SとCaの含有量の比S/Caを0.5未満にすること、更に、鋼板及び鋼管の最大Mn偏析度を2.0以下にすることである。図1に0.04% C - 1.25% Mn鋼のHIC試験におけるCAR (割れ面積率) とS/Caの関係を示す。図1に示されるように、S/Caの比が0.5以上になると、HICが発生し始めるので、S/Caは0.5未満にする必要がある。

20

【0018】

次に、Ti、Nbの炭窒化物、特にNb(C, N)やTiCの集積を抑制するには、次の条件を満たすことが必要である。N量を0.0050%以下にすること、C量を0.06%以下にすること、NbとTiの偏析度をそれぞれ4.0以下にすることである。

【0019】

ここで、最大Mn偏析度とは、鋼板及び鋼管における、中心偏析部を除いた平均のMn量に対する中心偏析部の最大のMn量の比である。

30

同様に、Nb偏析度とTi偏析度は、鋼板及び鋼管における、中心偏析部を除いた平均のNb量(Ti量)に対する中心偏析部の平均化したNb量(Ti量)の比である。

【0020】

Mn偏析度は、EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)、又は、EPMAによる測定結果を画像処理することができるCMA (Computer Aided Micro Analyzer) によって、鋼板及び鋼管のMn濃度分布を測定することにより求めることができる。

【0021】

その際、EPMA (又はCMA) のプローブ径によって最大Mn偏析度の数値が変化する。本発明者らは、プローブ径(ビーム径)を2 $\mu$ mとすることにより、適正にMnの偏析を評価できることを見出した。具体的には、次のようにして測定を行うことができる。

40

【0022】

EPMAにて50 $\mu$ mのビーム径にて20mm幅(HIC試験片幅)×20mm厚(HIC試験片厚)の測定領域におけるMnの濃度分布を測定する。次に、最もMn量が濃化していた場所(中心偏析部)において、さらに2 $\mu$ mのビーム径にて1mm(幅)×1mm(厚み)の領域のMn濃度を測定する。そして、このMn濃度分布から最大Mn偏析度を求める。その際、500点×500点のデータを集積する。この250000点の中の最大Mn濃度と中心偏析部を除いた平均Mn濃度の比を最大Mn偏析度と定義してその値を求めた。

【0023】

50

また、Nb 偏析度及びTi 偏析度についても同様に、EPMA又はCMAによって、Nb 濃度分布及びTi 濃度分布を測定することにより求めることができる。その際、Nb 偏析度及びTi 偏析度についても同様に、ビーム径を2  $\mu$ mとすることにより、適正に偏析を評価できることがわかった。

【0024】

実際には、Nb、Ti 偏析度に関しても、EPMAにて50  $\mu$ mのビーム径にて20 mm幅(HIC試験片幅)×20 mm厚(HIC試験片厚)の測定領域におけるNb、Ti の濃度分布を測定して、平均Nb (Ti) 濃度を求めた後、最もNb、Ti 量が濃化していた場所(中心偏析部)において、さらに2  $\mu$ mのビーム径にて1 mm(幅)×1 mm(厚み)の領域のNb、Ti 濃度を測定する。その際、板幅方向に測定した500点の平均を取り、中心偏析部の平均のNb、Ti 濃度を導出する。そして、中心偏析部の平均のNb、Ti 濃度と平均Nb、Ti 濃度の比をNb、Ti 偏析度と定義してその値を求める。

10

【0025】

なお、MnS、TiN、Nb(C, N)などの介在物が存在するとMn 偏析度、Ti 偏析度、Nb 偏析度が見かけ上大きくなるので、介在物が当たった場合はその値は除いて評価するものとする。

【0026】

最後に、酸化物の集積を抑制するには、O量を0.0035%以下にすること、Al量を0.030%以下にすることが必要である。O量が多いと、粗大な酸化物が集積しやすいこと、Alを0.030%超添加すると、Alの酸化物のクラスターが集積しやすくなる

20

【0027】

更に、Mn、Nb、Tiの偏析が抑制された鋼板と鋼管の中心偏析部の最高硬さは、300 Hv以下とすることが好ましい。中心偏析部最高硬さの上限を300 Hv以下とすることによって、確実にHICの発生を防止することができる。Mn、Nbは焼入れ性を高める元素であり、Tiは析出強化に寄与するため、これらの元素の偏析を抑制することによって、中心偏析部の硬化を抑制することができる。

【0028】

なお、中心偏析部は、EPMAやCMAによって測定したMnの濃度が最大になる部位であり、中心偏析部の最高硬さは、3%硝酸+97%ナイトール溶液で腐食した後、JIS Z 2244に準拠し、25 gの荷重でピッカース硬さ試験を行って、測定すればよい。

30

【0029】

以上のような検討結果に基づいてなされた本発明について、以下詳細に説明する。

まず、本発明の鋼板及び鋼管における母材成分の限定理由について述べる。

【0030】

C：Cは鋼の強度を向上させる元素であり、その有効な下限として0.02%以上の添加が必要である。一方、C量が0.08%を超えると、炭化物の生成が促進されて耐HIC性を損なうため、上限を0.08%以下とする。また、HIC性や溶接性や靱性の低下を抑制するには、C量の上限を0.06%以下とすることが好ましい。

40

【0031】

Si：Siは脱酸元素であり、0.01%以上の添加が必要である。一方、Si量が0.5%を超えると、溶接熱影響部(HAZ)の靱性を低下させるため、上限を0.5%以下とする。

【0032】

Mn：Mnは、強度及び靱性を向上させる元素であり、1.2%以上の添加が必要である。一方、Mn量が、1.6%を超えると、HAZ靱性を低下させるため、上限を1.8%以下とする。また、HICを抑制するには、Mn量の上限を1.5%未満とすることが好ましい。

【0033】

50



Nb : Nbは、炭化物、窒化物を形成し、強度の向上に寄与する元素である。効果を得るためには、0.0001%以上のNbを添加することが必要である。しかし、Nbを過剰に添加すると、Nb偏析度が増加し、Nbの炭窒化物の集積を招いて、耐HIC性が低下する。したがって、本発明においては、Nb量の上限を0.10%以下とする。また、HIC性を考慮した場合、Nb量の上限は0.05%以下にすることが好ましい。

【0034】

N : Nは、TiN、NbNなどの窒化物を形成する元素であり、窒化物を利用して加熱時のオーステナイト粒径を微細にするためには、N量の下限値を0.0010%以上とすることが必要である。しかし、Nの含有量が0.0050%を超えると、TiとNbの炭窒化物が集積しやすくなり、耐HIC性を損なう。したがって、N量の上限を0.0050%以下とする。なお、靱性などが要求される場合には、TiNの粗大化を抑制するため、N量の上限を0.0035%以下にすることが好ましい。

10

【0035】

P : Pは不純物であり、含有量が0.01%を超えると、耐HIC性を損ない、また、HAZの靱性が低下する。したがって、Pの含有量の上限を0.01%以下に制限する。

【0036】

S : Sは、熱間圧延時に圧延方向に延伸するMnSを生成して、耐HIC性を低下させる元素である。したがって、本発明では、S量を低減することが必要であり、上限を0.0020%以下に制限する。また、靱性を向上させるためには、S量を0.0010%以下とすることが好ましい。S量は、少ないほど好ましいが、0.0001%未満にすることは困難であり、製造コストの観点から、下限を0.0001%以上にすることが好ましい。

20

【0037】

Ti : Tiは、通常、脱酸剤や窒化物形成元素として結晶粒の細粒化に利用される元素であるが、本発明では、炭窒化物の形成によって耐HIC性や靱性を低下させる元素である。したがって、Tiの含有量の上限は、0.030%以下に制限する。

【0038】

Al : Alは脱酸元素であるが、本発明においては、添加量が0.030%を超えるとAl酸化物の集積クラスターが確認されるため、0.030%以下に制限する。靱性が要求される場合には、Al量の上限を0.017%以下にすることが好ましい。Al量の下限値は特に限定しないが、溶鋼中の酸素量を低減させるためには、Alを0.0005%以上添加することが好ましい。

30

【0039】

O : Oは不純物であり、酸化物の集積を抑制して、耐HIC性を向上させるために、上限を0.0035%以下に制限する。酸化物の生成を抑制して、母材及びHAZ靱性を向上させるためには、O量の上限値を0.0030%以下とすることが好ましい。O量の最適な上限は0.0020%以下である。

【0040】

Ca : Caは硫化物CaSを生成し、圧延方向に伸長するMnSの生成を抑制し、耐HIC性の改善に顕著に寄与する元素である。Caの添加量が0.0001%未満では、効果が得られないため、下限値を0.0001%以上とする。0.0005%以上が好ましい。一方、Caの添加量が0.0050%を超えると、酸化物が集積し、耐HIC性を損なうため、上限を0.0050%以下とする。

40

【0041】

本発明では、Caを添加して、CaSを形成させることにより、Sを固定するため、SとCaの含有量におけるS/Caの比は重要な指標である。S/Caの比が0.5以上であると、MnSが生成し、圧延時に延伸化したMnSが形成される。その結果、耐HIC性が劣化する。したがって、S/Caの比を0.5未満とした。

【0042】

なお、本発明においては、強度及び靱性を改善する元素として、Ni、Cu、Cr、M

50

o、W、V、Zr、Ta、Bの中で、1種又は2種以上の元素を添加することができる。

【0043】

Ni：Niは、靱性及び強度の改善に有効な元素であり、その効果を得るためには0.01%以上の添加が必要であるが、2.0%以上の添加ではHIC性及び溶接性が低下するために、その上限を2.0%とすることが好ましい。

【0044】

Cu：Cuは、靱性を低下させずに強度の上昇に有効な元素であるが、0.01%未満では効果がなく、1.0%を超えると鋼片加熱時や溶接時に割れを生じやすくする。従って、その含有量を0.01~1.0%以下とすることが好ましい。

【0045】

Cr：Crは析出強化による鋼の強度を向上させるために、0.01%以上の添加が有効であるが、多量に添加すると、焼入れ性を上昇させ、ベイナイト組織を生じさせ、靱性を低下させる。従って、その上限を1.0%とすることが好ましい。

【0046】

Mo：Moは、焼入れ性を向上させると同時に、炭窒化物を形成し強度を改善する元素であり、その効果を得るためには、0.01%以上の添加が好ましい。一方、Moを0.60%を超えて多量に添加すると、コストが上昇するため、上限を0.60%以下にすることが好ましい。また、鋼の強度が上昇すると、HIC性及び靱性が低下することがあるため、より好ましい上限を0.40%以下とする。

【0047】

W：Wは、強度の向上に有効な元素であり、0.01%以上の添加が好ましい。一方、1.0%を超えるWを添加すると、靱性の低下を招くことがあるため、上限を1.0%以下とすることが好ましい。

【0048】

V：Vは、炭化物、窒化物を形成し、強度の向上に寄与する元素であり、効果を得るためには、0.01%以上の添加が好ましい。一方、0.10%を超えるVを添加すると、靱性の低下を招くことがあるため、上限を0.10%以下とすることが好ましい。

【0049】

Zr、Ta：Zr及びTaは、Vと同様に炭化物、窒化物を形成し強度の向上に寄与する元素であり、効果を得るために、0.0001%以上を添加することが好ましい。一方、Zr及びTaを、0.050%を超えて過剰に添加すると、靱性の低下を招くことがあるため、その上限を0.050%以下とすることが好ましい。

【0050】

B：Bは、鋼の粒界に偏析して焼入れ性の向上に著しく寄与する元素である。この効果を得るには、0.0001%以上のBの添加が好ましい。また、BはBNを生成し、固溶Nを低下させて、溶接熱影響部の靱性の向上にも寄与する元素であるため、0.0005%以上の添加がより好ましい。一方、Bを過剰に添加すると、粒界への偏析が過剰になり、靱性の低下を招くことがあるため、上限を0.0020%とすることが好ましい。

【0051】

更に、酸化物や硫化物などの介在物を制御するために、REM、Mg、Zr、Ta、Y、Hf、Reの1種又は2種以上を含有させても良い。

【0052】

REM：REMは、脱酸剤及び脱硫剤として添加される元素であり、0.0001%以上の添加が好ましい。一方、0.010%を超えて添加すると、粗大な酸化物を生じて、HIC性や、母材及びHAZの靱性を低下させることがあり、好ましい上限は0.010%以下である。

【0053】

Mg：Mgは、脱酸剤及び脱硫剤として添加される元素であり、特に、微細な酸化物を生じて、HAZ靱性の向上にも寄与する。この効果を得るには、0.0001%以上のMgを添加することが好ましい。一方、Mgを0.010%超添加すると、酸化物が凝集、

10

20

30

40

50

粗大化し易くなり、H I C 性の劣化や、母材及びH A Zの韌性の低下をもたらすことがある。したがって、M g 量の上限を、0 . 0 1 0 % 以下とすることが好ましい。

【0054】

Y、H f、R e : Y、H f、R e は、C a と同様、硫化物を生成し、圧延方向に伸長したM n S の生成を抑制し、耐H I C 性の向上に寄与する元素である。このような効果を得るには、Y、H f、R e を、0 . 0 0 0 1 % 以上添加することが好ましい。一方、Y、H f、R e の量が0 . 0 0 5 0 % を超えると、酸化物が増加し、凝集、粗大化すると耐H I C 性を損なうため、上限を0 . 0 0 5 0 % 以下とすることが好ましい。

【0055】

更に、本発明では、鋼板及び鋼管の母材における最大M n 偏析度、N b 偏析度及びT i 偏析度を、それぞれ、2 . 0 以下、4 . 0 以下及び4 . 0 以下とする。

10

【0056】

最大M n 偏析度を2 . 0 以下にすることにより粗大なM n S の生成が抑制され、圧延方向に延伸化したM n S を起点とするH I C の発生を防止することができる。また、N b 偏析度を4 . 0 以下にすると集積したN b ( C , N ) の生成が抑制され、T i 偏析度を4 . 0 以下にすると集積したT i N の生成が抑制され、H I C 性の劣化を防止することができる。

【0057】

最大M n 偏析度は、鋼板及び鋼管の中心偏析部を除いた平均のM n 量に対する中心偏析部の最大のM n 量の比であり、ビーム径を2  $\mu$  m とするE P M A 又はC M A によって鋼板及び鋼管のM n 濃度分布を測定し、求めることができる。N b 偏析度及びT i 偏析度についても同様であり、ビーム径を2  $\mu$  m とするE P M A 又はC M A によって、それぞれ、N b 濃度分布及びT i 濃度分布を測定し、鋼板及び鋼管の中心偏析部を除いた平均のN b 量に対する中心偏析部の平均化したN b 量の比 ( N b 偏析度 ) 、鋼板及び鋼管の中心偏析部を除いた平均のT i 量に対する中心偏析部の平均化したT i 量の比 ( T i 偏析度 ) を求めるものとする。

20

【0058】

最大M n 偏析度、N b 偏析度及びT i 偏析度を抑制するための方法について以下に説明する。

【0059】

M n、N b 及びT i の偏析を抑制するには、連続鋳造における最終凝固時の軽圧下が最適である。最終凝固時の軽圧下は、鋳造の冷却の不均一に起因する、凝固部と未凝固部との混在を解消するために施すものであり、これにより、幅方向に均一に最終凝固させることができる。

30

【0060】

連続鋳造において、通常、鋼片は水冷されるが、幅方向の端部は冷却が速く、幅方向の中央部の冷却は強化される。そのため、鋼片の幅方向の端部及び中央部では凝固していても、幅方向の1 / 4 部では、凝固が遅れて、鋼片の内部には未凝固部が残存する。そのため、鋼片の幅方向において、凝固部と未凝固部が均一にならずに、例えば、凝固部と未凝固部との界面の形状が幅方向にW 型となってしまうことがある。このような幅方向に不均一な凝固を生じてしまうと、偏析が助長されて、耐H I C 性を劣化させる。

40

【0061】

これに対して、連続鋳造において、最終凝固時の軽圧下を行うと、未凝固部が押し出されて、幅方向に均一に凝固させることができる。また、幅方向に不均一な凝固が生じた後で軽圧下を加えると、凝固部の変形抵抗が大きいことに起因して、未凝固部を効果的に押し出すことができなくなる。

【0062】

したがって、このようなW 型の凝固を生じさせないようにするためには、鋳片の最終凝固位置における中心固相率の幅方向の分布に応じて圧下量を制御しながら軽圧下することが好ましい。これにより、幅方向でも中心偏析が抑制され、最大M n 偏析度、N b 偏析度

50

、Ti 偏析度を更に小さくすることができる。

【0063】

上記の成分を含有する鋼は、製鋼工程で溶製後、連続鋳造により鋼片とし、鋼片を再加熱して厚板圧延を施し、鋼板とされる。この場合、鋼片の再加熱温度を1000以上とし、再結晶温度域での圧下比を2以上に、未再結晶域での圧下比を3以上にして厚板圧延を行えば、平均旧オーステナイト粒径を20 $\mu$ m以下にすることができる。更に、圧延終了後水冷を行うが、水冷開始温度を750未満の温度から行い、また、水冷停止温度を400~500にすることが好ましい。

【0064】

なお、再結晶温度域は、圧延後に再結晶が生じる温度範囲であり、本発明の鋼の成分では概ね900超である。一方、未再結晶温度域は、圧延後に再結晶及びフェライト変態が生じない温度範囲であり、本発明の鋼の成分では概ね750~900である。再結晶温度域での圧延を再結晶圧延又は粗圧延といい、未再結晶温度域での圧延を未再結晶圧延又は仕上げ圧延という。

【0065】

未再結晶圧延後、750以上の温度から水冷を開始し、水冷停止温度を400以上とすることにより、以下に説明するように、中心偏析の最大硬度を300HV以下にすることができる。まず、水冷開始温度を750未満にすると、冷却開始前にフェライトが多く生成し、フェライトからC(炭素)がオーステナイトへ排出される。その後、冷却すると、Cが濃縮したオーステナイト相は、多くのC量を含む硬質のマルテンサイトに変態する。

【0066】

したがって、水冷開始温度を750以上にして、硬質のマルテンサイトの生成を抑制すれば、硬度を300HV以下に抑制することができる。また、水冷停止温度を400以上にすると、同じように、変態後の硬質なマルテンサイトが一部分解し、硬度を300HV以下に抑制することができる。また、水冷停止温度は、高すぎると強度が低下するため、500以下が好ましい。

【実施例】

【0067】

次に、本発明を実施例によって更に詳細に説明する。

【0068】

表1に示す化学成分を有する鋼を溶製し、連続鋳造により、厚みが240mmである鋼片とした。連続鋳造では、最終凝固時の軽圧下を実施した。得られた鋼片を1100~1250に加熱し、900超の再結晶温度域で熱間圧延を行い、引き続き、750~900の未再結晶温度域での熱間圧延を行った。熱間圧延後は、750以上で水冷を開始し、400~500の温度で水冷を停止し、表2に示す種々の板厚の鋼板を作製した。

【0069】

更に、鋼板を、Cプレス、Uプレス、Oプレスによって管状に成形し、端面を仮付け溶接し、内外面から本溶接を行った後、拡管後、鋼管とした。なお、本溶接は、サブマージドアーク溶接を採用し、表3に示す入熱量で行った。

【0070】

得られた鋼板及び鋼管から引張試験片、HIC試験片、マクロ試験片を採取し、それぞれの試験に供した。

HIC試験は、NACETM0284に準拠して行った。また、マクロ試験片を用いて、Mn、Nb、Tiの偏析度をEPMAによって測定した。EPMAによる偏析度の測定は、50 $\mu$ mのビーム系で全厚 $\times$ 20mm幅の測定面積で実施してMn、Nb、Tiの濃度分布を測定し、ついで、試験片厚み方向における各元素が濃化している場所(中心偏析部)において、2 $\mu$ mのビーム系で1mm $\times$ 1mmの領域で各元素の濃度を測定した。

さらに、中心偏析のピッカーズ硬度をJIS Z 2244に準拠して測定した。ピッ

10

20

30

40

50

カーブ硬度の測定は、荷重を25gとし、EPMAによって測定した厚み方向のMn濃度の分布における、Mn濃度が最も高い部位で測定した。

【0071】

表2には、表1の鋼1～33によってそれぞれ得られた鋼板の板厚、最大Mn偏析度、Nb偏析度、Ti偏析度、中心偏析部の最高硬さ、引張り強度及びHIC試験によって求められた割れの面積率(CAR)を示す。また、表3には、表1の鋼1～33からそれぞれ得られた鋼管の肉厚、本溶接の入熱量、HIC試験によって求められた割れの面積率を示す。なお、鋼管の最大Mn偏析度、Nb偏析度、Ti偏析度、中心偏析部の最高硬さは鋼板と同等であり、鋼管の引張り強度は鋼板よりも数%程度大きくなっている。

【0072】

鋼1～23は本発明の例であり、これらの鋼から得られた鋼板は、最大Mn偏析度は1.6以下、Nb偏析度は4.0以下、Ti偏析度は4.0以下、中心偏析部の最高硬さは300HV以下になっており、HIC試験による割れは発生していない。これらの鋼板を素材とする鋼管も同様である。

【0073】

一方、鋼24～33は本発明の範囲外である比較例を示す。すなわち、基本成分の内いずれかの元素が、本発明の範囲外であるため、HIC試験にてCARが3%を超えているものである。

【0074】

【表 1】

No.	成分 (mass%)																	S/Ca		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	N	Ca	O	Ni	Cu	Cr	Mo	V	Zr		Ta, W, B	REM, Mg, Y, Hf, Re
1	0.043	0.10	1.32	0.005	0.0005	0.004	0.012	0.030	0.0025	0.0015	0.0015	0.20	0.30	0.30					Mg 0.0053	0.33
2	0.055	0.13	1.35	0.008	0.0006	0.013	0.003	0.040	0.0030	0.0017	0.0013				0.30					0.35
3	0.040	0.08	1.45	0.003	0.0008	0.008	0.012	0.030	0.0021	0.0021	0.0020	0.15	0.30		0.10				REM 0.0008	0.38
4	0.056	0.07	1.48	0.004	0.0003	0.010	0.016	0.060	0.0018	0.0011	0.0013	0.30	0.30			0.0051				0.27
5	0.060	0.25	1.49	0.009	0.0006	0.007	0.012	0.054	0.0015	0.0017	0.0016			0.30	0.15	0.030		Ta 0.0032		0.35
6	0.045	0.10	1.25	0.008	0.0004	0.016	0.012	0.026	0.0023	0.0013	0.0027	0.20	0.35				0.0012	B 0.0002		0.31
7	0.036	0.02	1.36	0.006	0.0006	0.005	0.013	0.030	0.0031	0.0017	0.0021			0.30		0.030			Mg 0.0038	0.35
8	0.041	0.15	1.38	0.007	0.0005	0.013	0.008	0.050	0.0035	0.0015	0.0016	0.30	0.30							0.33
9	0.038	0.17	1.41	0.005	0.0002	0.013	0.008	0.030	0.0026	0.0009	0.0016	0.20			0.35					0.22
10	0.050	0.20	1.43	0.008	0.0004	0.004	0.020	0.050	0.0025	0.0013	0.0023	0.30	0.30						Mg 0.0018	0.31
11	0.056	0.22	1.36	0.006	0.0003	0.004	0.024	0.032	0.0026	0.0011	0.0015	0.30				0.040			REM 0.0042	0.27
12	0.048	0.25	1.29	0.004	0.0006	0.010	0.012	0.030	0.0035	0.0017	0.0023			0.50			0.0037	B 0.0003		0.35
13	0.038	0.31	1.42	0.006	0.0008	0.015	0.024	0.010	0.0024	0.0021	0.0016				0.30				Y 0.0010	0.38
14	0.046	0.09	1.46	0.006	0.0006	0.001	0.013	0.040	0.0034	0.0017	0.0014	0.15	0.30						Mg 0.0033	0.35
15	0.040	0.28	1.42	0.004	0.0004	0.006	0.012	0.012	0.0026	0.0013	0.0016	0.20	0.30					W 0.2		0.31
16	0.050	0.32	1.39	0.007	0.0006	0.006	0.008	0.006	0.0024	0.0017	0.0021	0.16	0.40						REM 0.0007	0.35
17	0.060	0.48	1.32	0.008	0.0006	0.003	0.010	0.020	0.0023	0.0017	0.0019			0.30			0.0008			0.35
18	0.045	0.24	1.29	0.005	0.0006	0.003	0.005	0.060	0.0023	0.0017	0.0016	0.13	0.30					Ta 0.0029		0.35
19	0.038	0.28	1.42	0.009	0.0003	0.016	0.026	0.013	0.0029	0.0011	0.0016	0.20		0.30					REM 0.0006	0.27
20	0.040	0.12	1.45	0.010	0.0005	0.016	0.012	0.024	0.0033	0.0015	0.0017	0.30	0.50						Mg 0.0025	0.33
21	0.042	0.31	1.49	0.005	0.0008	0.003	0.017	0.030	0.0032	0.0021	0.0016				0.32				Hf 0.0005	0.38
22	0.050	0.26	1.45	0.007	0.0006	0.003	0.012	0.020	0.0026	0.0017	0.0022									0.35
23	0.046	0.31	1.46	0.004	0.0015	0.013	0.018	0.040	0.0026	0.0035	0.0018	0.20							Re 0.0005	0.43
24	0.150	0.18	1.40	0.005	0.0012	0.005	0.012	0.050	0.0029	0.0029	0.0020	0.20	0.20							0.41
25	0.046	0.23	2.00	0.007	0.0015	0.016	0.013	0.030	0.0028	0.0035	0.0028				0.20					0.43
26	0.040	0.12	1.50	0.020	0.0016	0.015	0.008	0.014	0.0027	0.0037	0.0018				0.26				REM 0.0012	0.43
27	0.051	0.25	1.43	0.006	0.0050	0.009	0.019	0.040	0.0032	0.0105	0.0016			0.30				B 0.0005		0.48
28	0.045	0.17	1.46	0.007	0.0003	0.035	0.017	0.021	0.0031	0.0011	0.0019	0.16	0.16						Mg 0.0005	0.27
29	0.049	0.05	1.32	0.005	0.0006	0.010	0.064	0.030	0.0026	0.0017	0.0026				0.30	0.040				0.35
30	0.059	0.09	1.40	0.009	0.0009	0.003	0.013	0.150	0.0025	0.0023	0.0027			0.30						0.39
31	0.046	0.12	1.35	0.005	0.0008	0.014	0.012	0.014	0.0065	0.0021	0.0026	0.13	0.20							0.38
32	0.040	0.18	1.26	0.006	0.0026	0.004	0.012	0.026	0.0028	0.0057	0.0075				0.15					0.46
33	0.046	0.05	1.30	0.007	0.0015	0.016	0.010	0.030	0.0031	0.0005	0.0025	0.13	0.20		0.30				REM 0.0007	3.00

(下線は本発明範囲外を示す。)

【 0 0 7 5 】

【表 2】

表 2

鋼板	板厚 mm	最大Mn 偏析度	Nb 偏析度	Ti 偏析度	中心偏析最高硬さ Hv	引張り強度 MPa	CAR %
1	14	1.35	2.1	2.5	259	538	0
2	19	1.56	2.3	2.4	262	544	0
3	15	1.53	2.6	2.0	255	531	0
4	12	1.58	2.4	2.6	264	548	0
5	16	1.68	1.6	2.4	289	566	0
6	23	1.57	2.4	1.9	223	522	0
7	27	1.74	2.6	2.3	253	526	0
8	28	1.56	2.1	2.5	239	529	0
9	19	1.56	2.3	2.4	274	570	0
10	16	1.55	2.4	2.0	253	525	0
11	15	1.62	2.6	1.9	239	528	0
12	17	1.52	1.9	1.7	279	581	0
13	13	1.46	1.8	2.5	257	535	0
14	16	1.82	1.9	2.6	246	511	0
15	14	1.50	2.4	2.4	238	527	0
16	13	1.46	1.9	2.2	245	510	0
17	19	1.67	1.9	1.9	262	544	0
18	16	1.74	2.0	2.4	222	548	0
19	13	1.54	1.6	2.3	268	557	0
20	21	1.56	2.1	2.1	258	536	0
21	25	1.42	1.4	2.2	272	566	0
22	19	1.68	2.8	3.2	268	545	0
23	14	1.72	1.7	2.6	297	656	0
24	16	1.26	1.9	2.4	453	815	6.5
25	20	<u>2.35</u>	2.1	1.9	349	629	3.4
26	14	1.28	2.3	2.2	463	1013	4.6
27	19	1.30	2.4	1.9	291	649	5.1
28	21	1.32	1.9	2.8	284	565	4.6
29	14	1.35	1.8	<u>4.5</u>	286	666	5.2
30	13	1.45	<u>4.2</u>	2.4	269	779	4.8
31	16	1.40	2.3	2.8	294	565	4.6
32	19	<u>2.05</u>	3.4	3.5	367	555	3.9
33	19	1.30	1.6	2.7	289	682	8.5

(下線は本発明範囲外を示す。)

【 0 0 7 6 】

【表 3】

表 3

鋼管	肉厚 mm	引張り強度 MPa	入熱量 kJ/mm	CAR %
1	14	549	2.4	0
2	19	555	3.3	0
3	15	542	2.6	0
4	12	564	2.1	0
5	16	583	2.8	0
6	23	538	4.0	0
7	27	542	4.7	0
8	28	555	4.9	0
9	19	587	3.3	0
10	16	541	2.8	0
11	15	544	2.6	0
12	17	598	3.0	0
13	13	552	2.3	0
14	16	568	2.8	0
15	14	543	2.4	0
16	13	525	2.3	0
17	19	560	3.3	0
18	16	564	2.8	0
19	13	574	2.3	0
20	21	553	3.7	0
21	25	582	4.3	0
22	19	561	3.6	0
23	14	676	2.4	0
24	16	839	2.8	6.5
25	20	649	3.5	3.4
26	14	1043	2.4	4.6
27	19	668	3.3	5.1
28	21	582	3.7	4.6
29	14	686	2.4	5.2
30	13	802	2.3	4.8
31	16	582	2.8	4.6
32	19	572	3.5	3.9
33	19	702	3.3	8.5

10

20

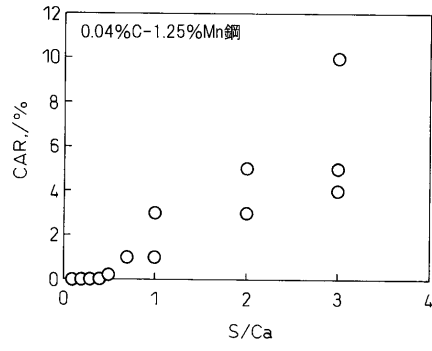
30

40



【 図 1 】

图1



---

フロントページの続き

- (72)発明者 原 卓也  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 寺田 好男  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 村木 太郎  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 鈴木 豪  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- Fターム(参考) 4E028 CB04