

明 細 書

発明の名称：二相ステンレス鋼溶接継手

技術分野

[0001] 本開示は、二相ステンレス鋼溶接継手に関する。

背景技術

[0002] 二相ステンレス鋼は、高強度と塩化物環境下での優れた耐食性を有する。そのため、二相ステンレス鋼は広範囲の技術分野で使用されている。二相ステンレス鋼はたとえば、海水熱交換器用鋼管の材料及びオフショア開発用のアンピリカルケーブル用鋼管の材料として使用されている。

[0003] 二相ステンレス鋼は、必要とされる用途に応じて、JIS規格（Japanese Industrial Standards）及びASTM Standardsにおいて規格が定められている。たとえば、JIS規格ではSUS329J3L及びSUS329J4Lが定められている。最近では耐孔食指数（PREW）が40を超えるスーパー二相ステンレス鋼として、SUS327L1が新たにJIS規格に追加されている。加えて、スーパー二相ステンレス鋼である、ASTM A789 S39274も開発及び実用化されている。ASTM A789 S39274に規定の二相ステンレス鋼では、PREWを高めて高強度化及び高耐食化がされ、多量のWの添加によって高PREW化に伴うシグマ相の析出が抑制されている。

[0004] ところで、二相ステンレス鋼を溶接して使用する場合、溶接後の急冷によって、溶接金属中のフェライト量が、二相ステンレス鋼の母材のフェライト量と比較して顕著に多くなる。これにより、溶接金属の強度及び耐食性が低下する。そこで、溶接ままでも強度及び耐食性に優れる溶接継手が求められている。

[0005] 耐孔食性を高めた二相ステンレス鋼溶接継手がたとえば、特開2015-196894号公報（特許文献1）に提案されている。特許文献1の二相ステンレス鋼溶接継手は、母材および溶接金属の化学組成が、質量%で、C：

0.03%以下、Si:0.5%以下、Mn:2%以下、P:0.04%以下、S:0.003%以下、Cr:21%以上29%未満、Ni:4.0~10.5%、Mo:0.8~4.0%、N:0.1%を超え0.4%以下、sol. Al:0.040%以下、W:0~4.0%、Cu:0~4.0%、B:0~0.005%、REM:0~0.2%、残部:Feおよび不純物である。特許文献1の二相ステンレス鋼溶接継手はさらに、下記の(1)式から求められるオーステナイト指数aが0.1~0.4であり、 $Mn/N \geq 2$ を満足し、かつ、下記(2)式から求められるPF指数が1.0以下であり、母材および溶接金属の表面に形成された溶接時の酸化スケール厚さが500nm以下である。

$$a = \{Ni + 30(C + N) - 0.6(Cr + 1.5Si + Mo) + 5.6\} / \{Cr + 1.5Si + Mo - 6\} \quad (1)$$

$$PF = Mn \times (100Pb + 50Sb + 30Zn + 40As) \quad (2)$$

ただし、上記式中の各元素記号は、それぞれの元素の含有量(質量%)を意味する。特許文献1では、式(1)及び式(2)を満たすことで、二相ステンレス鋼溶接継手の耐孔食性を高める。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1: 特開2015-196894号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、二相ステンレス鋼を、アンビリカル用チューブとして使用する場合、二相ステンレス鋼管同士が周溶接されて、二相ステンレス鋼溶接継手が製造される。二相ステンレス鋼溶接継手は、長さ数km~数十kmのアンビリカルケーブルの一部として使用される。

[0008] 溶接施工性の向上、及び、溶接効率の高効率化のためには、二相ステンレ

ス鋼管は薄いことが好ましい。一方で、アンビリカルケーブル用鋼管として使用される場合、二相ステンレス鋼管は、波による揺動を受けながら、長期間使用される。したがって、二相ステンレス鋼管には高い疲労強度が要求される。二相ステンレス鋼溶接継手の溶接止端部に欠陥があれば、その欠陥に応力が集中しやすくなる。その結果、その欠陥を起点として疲労破壊が生じやすい。二相ステンレス鋼管が薄いほど、二相ステンレス鋼管の厚さに対する、溶接金属の形状の欠陥の割合は大きくなる。

[0009] 溶接止端部に生じやすい欠陥の一つに、アンダーカットがある。図1は、アンダーカット3が生じた二相ステンレス鋼溶接継手1の溶接金属20を含む、溶接金属20の延在方向に垂直な断面図である。図1を参照して、2つの母材10が溶接金属20を介して接続されており、溶接金属20の端には溝が形成されている。この溝をアンダーカット3という。二相ステンレス鋼溶接継手1が、溶接金属20端部におけるアンダーカット3を有する場合、アンビリカルケーブルの振動時に、アンダーカット3に応力が集中しやすい。そのため、アンダーカット3を起点とする疲労破壊が生じやすい。この場合、アンビリカルケーブルの寿命が設計基準よりも大幅に下回る可能性がある。したがって、アンダーカット3を抑制可能な二相ステンレス鋼溶接継手1が望まれている。

[0010] 本開示の目的は、アンダーカットを抑制できる、疲労特性に優れた二相ステンレス鋼溶接継手を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 本開示の二相ステンレス鋼溶接継手は、
質量%で、
C : 0.001%~0.030%、
Si : 0.05%~0.80%、
Mn : 0.05%~1.20%、
P : 0.030%以下、
S : 0.0030%以下、

Cr : 21.00%~28.00%、
Ni : 4.00%~8.00%、
Mo : 2.00%~4.50%、
Cu : 0.01~4.00%、
Sol. Al : 0.0010~0.0500%、
N : 0.080%~0.400%、
B : 0.0001~0.0100%、
W : 0~4.00%、
Nb : 0~0.10%、
V : 0~0.20%、
Ta : 0~0.30%、
Co : 0~1.00%、
Sn : 0~0.020%、
Mg : 0~0.0200%、
Ca : 0~0.0100%、及び、
残部がFe及び不純物からなる母材と、
質量%で、
C : 0.001%~0.030%、
Si : 0.05%~0.70%、
Mn : 0.05%~0.85%、
P : 0.030%以下、
S : 0.0030%以下、
Cr : 21.00%~28.00%、
Ni : 5.00%~11.00%、
Mo : 2.00%~4.50%、
Cu : 0.01~4.00%、
Sol. Al : 0.0010~0.0500%、
N : 0.080%~0.400%、

B : 0.0001~0.0100%、

W : 0~4.00%、

Nb : 0~0.10%、

V : 0~0.20%、

Ta : 0~0.30%、

Co : 0~1.00%、

Sn : 0~0.020%、

Mg : 0~0.0200%、

Ca : 0~0.0100%、及び、

残部がFe及び不純物からなる溶接金属とを備え、

前記母材及び前記溶接金属中の各元素の含有量を満たすとともに、式（1）及び式（2）を満たす。

$$Si + 3Mn \leq 3.00 \quad (1)$$

$$0 < BH / BW < 0.15 \quad (2)$$

ここで、式（1）中の各元素記号には、前記溶接金属中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式（2）中のBHは前記溶接金属のCap高さ（mm）、BWは前記溶接金属のCap幅（mm）が代入される。

発明の効果

[0012] 本開示の二相ステンレス鋼溶接継手は、アンダーカットを抑制でき、疲労特性に優れる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、アンダーカットが生じた二相ステンレス鋼溶接継手の溶接金属を含む、溶接金属の延在方向に垂直な断面図である。

[図2]図2は、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手を、溶接金属の延在方向に垂直な方向に切断した断面図である。

[図3]図3は、図2とは異なる他の実施形態による、二相ステンレス鋼溶接継手の断面図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、図面を参照して、本実施形態を詳しく説明する。図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0015] 本発明者らははじめに、二相ステンレス鋼溶接継手 1 に要求される強度及び耐食性を得るための化学組成について検討した。その結果、質量%で、C : 0.001%~0.030%、Si : 0.05%~0.80%、Mn : 0.05%~1.20%、P : 0.030%以下、S : 0.0030%以下、Cr : 21.00%~28.00%、Ni : 4.00%~8.00%、Mo : 2.00%~4.50%、Cu : 0.01~4.00%、Sol. Al : 0.0010~0.0500%、N : 0.080%~0.400%、B : 0.0001~0.0100%、W : 0~4.00%、Nb : 0~0.10%、V : 0~0.20%、Ta : 0~0.30%、Co : 0~1.00%、Sn : 0~0.020%、Mg : 0~0.0200%、Ca : 0~0.0100%、及び、残部がFe及び不純物からなる母材10と、質量%で、C : 0.001%~0.030%、Si : 0.05%~0.70%、Mn : 0.05%~0.85%、P : 0.030%以下、S : 0.0030%以下、Cr : 21.00%~28.00%、Ni : 5.00%~11.00%、Mo : 2.00%~4.50%、Cu : 0.01~4.00%、Sol. Al : 0.0010~0.0500%、N : 0.080%~0.400%、B : 0.0001~0.0100%、W : 0~4.00%、Nb : 0~0.10%、V : 0~0.20%、Ta : 0~0.30%、Co : 0~1.00%、Sn : 0~0.020%、Mg : 0~0.0200%、Ca : 0~0.0100%、及び、残部がFe及び不純物からなる溶接金属20とを備える二相ステンレス鋼溶接継手1であれば、優れた強度及び優れた耐食性が得られることが分かった。

[0016] 続いて、本発明者らは、上述の化学組成を有する二相ステンレス鋼溶接継手1に対して、図1に示すようなアンダーカット3を抑制できる手段について種々検討した。その結果、本発明者らは、従来の知見とは異なる以下の知

見を得た。なお、本明細書において、熔融金属とは、溶接材料を用いて溶接を行う際の熔融状態の金属（つまり、熔融池）をいう。熔融金属が凝固して溶接金属20が形成される。

[0017] 二相ステンレス鋼は、Cr含有量が高いために溶接時の熔融金属の粘性が高い。そのため、溶接時の熔融金属の、母材10に対する濡れ性が低い。溶接時の熔融金属の濡れ性が低ければ、アンダーカット3が生じやすい。そこで本発明者らは、溶接時の熔融金属の、母材10に対する濡れ性を高めれば、アンダーカット3を抑制できると考えた。

[0018] 本発明者らはまず、溶接時の熔融金属の粘性を低下させれば、溶接時の熔融金属の母材10に対する濡れ性が高まり、アンダーカット3を抑制できると考えた。上述のとおり、Crは粘性を高める。そのため、Cr含有量を低減することも考えられる。しかしながら、Crは、二相ステンレス鋼溶接継手1の強度及び耐食性を得るために所定量含有させる必要がある。そのため、Cr含有量を低減することは難しい。

[0019] そこで本発明者らは、Cr以外の元素について、溶接時の熔融金属の粘性に影響を与える元素を検討した。その結果、本発明者らは、上述の化学組成を有する二相ステンレス鋼においては、Siが、溶接時の熔融金属の粘性に影響することを見出した。

[0020] Siは溶接時の熔融金属の粘性を高める。そこで本発明者らは、Si量を低減することによって溶接時の熔融金属の粘性が低下すると考えた。これにより、溶接時における外向きのマランゴニ対流速度を増加し、溶接時の熔融金属が溶接金属20の幅方向に広がりやすくなる。その結果、溶接時の熔融金属の、母材10に対する濡れ性が高まると考えられる。

[0021] しかしながら、Si含有量のみを調整しても、依然としてアンダーカット3が発生した。そこで本発明者らは、溶接時の熔融金属の粘性とは別の観点から、アンダーカット3を抑制する方法について検討した。

[0022] ここで、本発明者らは、溶接時の熔融金属の表面張力に着目した。その結果、以下の知見を得た。

[0023] Mnは溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数を高める。Mn量を低減することによって溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数が低下する。Mn量を低減すれば、温度が高い溶接金属20の中心部と、温度が低い溶接金属20の周辺部との表面張力の差が小さくなる。その結果、溶接時の溶融金属の、母材10に対する濡れ性が高まる。

[0024] 本発明者らは、溶接金属20中のSi含有量、及び、Mn含有量についてさらに詳細に検討した。そして、本発明者らは、溶接金属20中のSi含有量、及び、Mn含有量が、適切な関係を有する範囲に調整されれば、溶接時の溶融金属の濡れ性が高まり、二相ステンレス鋼溶接継手1のアンダーカット3を抑制できると考えた。そこで、本発明者らは、溶接金属20中のSi含有量と、Mn含有量との関係について検討した。その結果、上述の化学組成を有する二相ステンレス鋼においては、式(1)を満たす必要があることが分かった。

$$\text{Si} + 3\text{Mn} \leq 3.00 \quad (1)$$

ここで、式(1)中の各元素記号には、溶接金属20中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

[0025] 溶接金属20の化学組成が上述の範囲内にあるとともに、式(1)を満たすことによって、溶接時の溶融金属の粘性を低下させ、さらに、溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数を低下させることができる。これにより、溶接時の溶融金属の濡れ性が高まる。

[0026] 本発明者らは、さらに詳細に検討し、上述の化学組成を有する二相ステンレス鋼溶接継手1においては、式(1)を満たして溶接時の溶融金属の濡れ性を高めた上で、さらに、溶接金属20の形状を調整することによりはじめて、アンダーカット3が抑制できることを知見した。具体的には、溶接金属20が、式(1)を満たした上で、さらに、溶接金属20の形状が、式(2)を満たすことで、アンダーカット3が抑制できる。

$$0 < \text{BH} / \text{BW} < 0.15 \quad (2)$$

ここで、式(2)中のBHは溶接金属20のCap高さ(mm)、BWは

溶接金属 20 の Cap 幅 (mm) が代入される。

[0027] 溶接時の溶融金属の表面張力が増加すれば、形成された溶接金属 20 が凸形状になりやすくなり、アンダーカット 3 が生じやすくなる。そのため、化学組成及び式 (1) を満たして溶接時の溶融金属の濡れ性を高めた上で、さらに、溶接金属 20 の凸形状を抑制して式 (2) を満たせば、アンダーカット 3 が抑制でき、疲労特性が高まる。

[0028] 以上の知見に基づいて完成した、本実施形態による二相ステンレス鋼溶接継手 1 の要旨は、次のとおりである。

[0029] [1]

二相ステンレス鋼溶接継手であって、

質量%で、

C : 0.001%~0.030%、

Si : 0.05%~0.80%、

Mn : 0.05%~1.20%、

P : 0.030%以下、

S : 0.0030%以下、

Cr : 21.00%~28.00%、

Ni : 4.00%~8.00%、

Mo : 2.00%~4.50%、

Cu : 0.01~4.00%、

SoI, Al : 0.0010~0.0500%、

N : 0.080%~0.400%、

B : 0.0001~0.0100%、

W : 0~4.00%、

Nb : 0~0.10%、

V : 0~0.20%、

Ta : 0~0.30%、

Co : 0~1.00%、

S n : 0 ~ 0 . 0 2 0 %、
M g : 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、
C a : 0 ~ 0 . 0 1 0 0 %、及び、
残部が F e 及び不純物からなる母材と、
質量%で、
C : 0 . 0 0 1 % ~ 0 . 0 3 0 %、
S i : 0 . 0 5 % ~ 0 . 7 0 %、
M n : 0 . 0 5 % ~ 0 . 8 5 %、
P : 0 . 0 3 0 %以下、
S : 0 . 0 0 3 0 %以下、
C r : 2 1 . 0 0 % ~ 2 8 . 0 0 %、
N i : 5 . 0 0 % ~ 1 1 . 0 0 %、
M o : 2 . 0 0 % ~ 4 . 5 0 %、
C u : 0 . 0 1 ~ 4 . 0 0 %、
S o l . A l : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 5 0 0 %、
N : 0 . 0 8 0 % ~ 0 . 4 0 0 %、
B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 0 %、
W : 0 ~ 4 . 0 0 %、
N b : 0 ~ 0 . 1 0 %、
V : 0 ~ 0 . 2 0 %、
T a : 0 ~ 0 . 3 0 %、
C o : 0 ~ 1 . 0 0 %、
S n : 0 ~ 0 . 0 2 0 %、
M g : 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、
C a : 0 ~ 0 . 0 1 0 0 %、及び、
残部が F e 及び不純物からなる溶接金属とを備え、
前記母材及び前記溶接金属中の各元素の含有量を満たすとともに、式（1）及び式（2）を満たす、

二相ステンレス鋼溶接継手。

$$Si + 3Mn \leq 3.00 \quad (1)$$

$$0 < BH / BW < 0.15 \quad (2)$$

ここで、式(1)中の各元素記号には、前記溶接金属中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(2)中のBHは前記溶接金属のCap高さ(mm)、BWは前記溶接金属のCap幅(mm)が代入される。

[0030] [2]

[1]に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、
前記母材の厚さが2.5mm以下の場合にはさらに、式(3)及び式(4)を満たす、

二相ステンレス鋼溶接継手。

$$Si + 4Mn \leq 3.75 \quad (3)$$

$$0 < BH / BW \leq 0.5 / (6.0 - 0.85WT) \quad (4)$$

ここで、式(3)中の各元素記号には、前記溶接金属中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(4)中のBHには前記溶接金属のCap高さ(mm)、BWには前記溶接金属のCap幅(mm)、WTは前記母材の厚さ(mm)が代入される。

[0031] [3]

[1]又は[2]に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、
前記母材が、

質量%で、

W : 0.01~4.00%、

Nb : 0.01~0.10%、

V : 0.01~0.20%、

Ta : 0.01~0.30%、

Co : 0.01~1.00%、

S n : 0.001~0.020%、
M g : 0.0001~0.0200%、及び、
C a : 0.0001~0.0100%、
からなる群から選択される1元素以上を含有する、
二相ステンレス鋼溶接継手。

[0032] [4]

[1] ~ [3] のいずれか1項に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、

前記溶接金属が、
質量%で、
W : 0.01~4.00%、
N b : 0.01~0.10%、
V : 0.01~0.20%、
T a : 0.01~0.30%、
C o : 0.01~1.00%、
S n : 0.001~0.020%、
M g : 0.0001~0.0200%、及び、
C a : 0.0001~0.0100%、
からなる群から選択される1元素以上を含有する、
二相ステンレス鋼溶接継手。

[0033] [本実施形態の溶接継手の構成について]

図2は、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1を、溶接金属20の延在方向に垂直な方向に切断した断面図である。図2を参照して、本実施形態による二相ステンレス鋼溶接継手1は、一对の母材10と、溶接金属20とを備える。溶接金属20は、一对の母材10の間に配置されている。溶接金属20は、一对の母材10の間に配置され、一对の母材10とつながっている。

[0034] 溶接金属20は、一对の母材10の端部同士を付き合わせた後、溶接を実

施して形成される。溶接は周知の溶接を適用すればよい。溶接はたとえば、ティグ溶接 (Gas Tungsten Arc Welding: GTAW)、被覆アーク溶接 (Shielded Metal Arc Welding: SMAW)、フラックス入りワイヤアーク溶接 (Flux Cored Arc Welding: FCAW)、ガスメタルアーク溶接 (Gas Metal Arc Welding: GMAW)、サブマージアーク溶接 (Submerged Arc Welding: SAW) である。

[0035] 図3は、図2とは異なる他の実施形態による、二相ステンレス鋼溶接継手1の断面図である。母材10の端部は、図3に示すように開先加工されていてもよいし、図2に示すように開先加工されていなくてもよい。母材10の厚さがたとえば、2.5mm超の場合には、母材10の端部に開先加工を施して、複数回溶接を実施する、いわゆる多層盛り溶接により溶接することが好ましい。母材10の厚さがたとえば、2.5mm以下の場合には、母材10の端部に開先加工を施さず、1回の溶接を実施する、いわゆる1層1パス溶接を施してもよい。母材10の端部に開先加工を施す場合、開先加工の形状は特に限定されない。母材10の端部の開先の形状はたとえば、V字開先、U字開先、及び、X字開先からなる群から選択される。

[0036] [母材について]

本実施形態による母材10について説明する。

[0037] [母材の化学組成]

本実施形態による母材10の化学組成は、次の元素を含有する。

[0038] C: 0.001~0.030%

炭素 (C) はオーステナイト相を安定化するのに有効な元素である。C含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接ままでの溶接金属20中のオーステナイト量が少なくなり、溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。一方で、C含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、炭化物が析出しやすくなり、母材10の耐食性が低下する。したがって、C含有量は0.001~0.030%で

ある。C含有量の好ましい下限は0.002%であり、より好ましくは0.003%であり、さらに好ましくは0.005%であり、さらに好ましくは0.010%である。C含有量の好ましい上限は0.028%であり、より好ましくは0.025%であり、さらに好ましくは0.023%であり、さらに好ましくは0.020%である。

[0039] Si : 0.05 ~ 0.80 %

シリコン (Si) は鋼を脱酸する。Si含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が十分に得られない。一方で、Siはフェライト相を安定化する。Si含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接までの溶接金属20中のフェライト量が増大して溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。Siはさらに、溶接時の溶融金属の粘性を高める。したがって、Si含有量は0.05 ~ 0.80%である。Si含有量の好ましい下限は0.08%であり、より好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.15%であり、さらに好ましくは0.20%であり、さらに好ましくは0.25%であり、さらに好ましくは0.30%であり、さらに好ましくは0.40%であり、さらに好ましくは0.50%である。Si含有量の好ましい上限は0.75%であり、より好ましくは0.70%であり、さらに好ましくは0.65%であり、さらに好ましくは0.60%である。

[0040] Mn : 0.05 ~ 1.20 %

マンガン (Mn) はオーステナイト相を安定化する。Mn含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接までの溶接金属20中のオーステナイト量が少なくなり、溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。一方で、Mnは溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数を高める。言い換えると、Mnは溶接時の溶融金属の表面張力の温度依存性を高める。Mn含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接時の溶融金属の濡れ性が低下する。したがって、Mn含有量は0.05 ~ 1.20%である。Mn含有量の好ましい下限は0.08%であ

り、より好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.20%であり、さらに好ましくは0.30%であり、さらに好ましくは0.40%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは0.60%であり、さらに好ましくは0.70%である。Mn含有量の好ましい上限は1.10%であり、より好ましくは1.00%であり、さらに好ましくは0.90%であり、さらに好ましくは0.80%であり、さらに好ましくは0.70%である。

[0041] P : 0.030%以下

リン(P)は不可避免的に含有される不純物である。すなわち、P含有量の下限は0%超である。Pは熱間加工時の割れ感受性を著しく高める。したがって、P含有量は0.030%以下である。P含有量の好ましい上限は0.028%であり、より好ましくは0.025%であり、さらに好ましくは0.023%であり、さらに好ましくは0.020%である。P含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、P含有量の極端な低減は、製造コストの増大を招く。したがって、工業生産性を考慮した場合、P含有量の好ましい下限は0.001%であり、より好ましくは0.002%である。

[0042] S : 0.0030%以下

硫黄(S)は不可避免的に含有される不純物である。すなわち、S含有量の下限は0%超である。Sは熱間加工時の割れ感受性を著しく高める。したがって、S含有量は0.0030%以下である。S含有量の好ましい上限は0.0025%であり、より好ましくは0.0020%であり、さらに好ましくは0.0015%であり、さらに好ましくは0.0010%である。S含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、S含有量の極端な低減は、製造コストの増大を招く。したがって、工業生産性を考慮した場合、S含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%である。

[0043] Cr : 21.00~28.00%

クロム(Cr)は母材10の耐食性を高める。Cr含有量が低すぎれば、

他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10の耐孔食性が低下する。一方、Cr含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、シグマ相のような金属間化合物が析出しやすく、母材10の熱間加工性、靱性、及び、耐食性が低下する。したがって、Cr含有量は21.00～28.00%である。Cr含有量の好ましい下限は21.50%であり、より好ましくは22.00%であり、さらに好ましくは22.50%であり、さらに好ましくは23.00%であり、さらに好ましくは23.50%であり、さらに好ましくは24.00%である。Cr含有量の好ましい上限は27.50%であり、より好ましくは27.00%であり、さらに好ましくは26.50%であり、さらに好ましくは26.00%である。

[0044] Ni : 4.00～8.00%

ニッケル (Ni) はオーステナイト相を安定化させる。Ni含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10中のオーステナイト量が少なくなり、母材10の耐食性及び強度が低下する。一方、Ni含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10中のフェライト量が少なくなり、母材10の耐食性及び強度が低下する。この場合さらに、母材10中にシグマ相が析出する。したがって、Ni含有量は4.00～8.00%である。Ni含有量の好ましい下限は4.50%であり、より好ましくは5.00%であり、さらに好ましくは5.50%であり、さらに好ましくは6.00%である。Ni含有量の好ましい上限は7.50%であり、より好ましくは7.00%である。

[0045] Mo : 2.00～4.50%

モリブデン (Mo) はCrと同様に母材10の耐食性を高める。Mo含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10の耐孔食性及び耐隙間腐食性が低下する。一方、Mo含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、シグマ相が析出しやすくなり、母材10の製造性の低下、及び、母材10の靱性及び耐食性が低下する。したがって、Mo含有量は2.00～4.50%である。Mo含有量

の好ましい下限は2.20%であり、より好ましくは2.40%であり、さらに好ましくは2.50%である。Mo含有量の好ましい上限は4.30%であり、より好ましくは4.00%である。

[0046] Cu: 0.01~4.00%

銅 (Cu) は硫酸や硫化水素環境における母材10の耐酸性を高める。Cu含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10の耐酸性が低下する。しかしながら、Cu含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10の熱間加工性が低下する。したがって、Cu含有量は0.01~4.00%である。Cu含有量の好ましい下限は0.05%であり、さらに好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.15%であり、さらに好ましくは0.20%であり、さらに好ましくは0.25%であり、さらに好ましくは0.30%であり、さらに好ましくは0.35%であり、さらに好ましくは0.40%であり、さらに好ましくは0.45%である。Cu含有量の好ましい上限は3.50%であり、より好ましくは3.00%であり、さらに好ましくは2.50%であり、さらに好ましくは2.00%であり、さらに好ましくは1.50%であり、さらに好ましくは1.00%である。

[0047] Sol, Al: 0.0010~0.0500%

アルミニウム (Al) は鋼を脱酸する。Al含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が得られない。しかしながら、Al含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、AlNが析出して母材10の靱性及び耐食性が低下する。したがって、Sol, Al含有量は0.0010~0.0500%である。Al含有量の好ましい下限は0.0030%であり、より好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.0080%であり、さらに好ましくは0.0100%であり、さらに好ましくは0.0120%である。Al含有量の好ましい上限は0.0400%であり、より好ましくは0.0300%であり、さらに好ましくは0.0200%である。なお、本明細書にいうAl含

有量は、「酸可溶A l」、つまり、S o l. A lの含有量を意味する。

[0048] N : 0.080 ~ 0.400 %

窒素 (N) はオーステナイト相を安定化するとともに、PREWを高めて母材10の耐孔食性及び耐隙間腐食性を高める。N含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10のフェライト相とオーステナイト相とのバランスが崩れ、母材10の耐食性及び強度が低下する。しかしながら、N含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接時にブローホール等の欠陥が発生する。したがって、N含有量は0.080 ~ 0.400 %である。N含有量の好ましい下限は0.100 %であり、より好ましくは0.150 %であり、さらに好ましくは0.200 %である。N含有量の好ましい上限は0.370 %であり、より好ましくは0.350 %であり、さらに好ましくは0.320 %である。

[0049] B : 0.0001 ~ 0.0100 %

ボロン (B) は高温で粒界に偏析して、母材10の熱間加工性を高める。Bはさらに、脱酸剤としても有効である。B含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が得られない。しかしながら、B含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接部の凝固過程において凝固偏析が生じ、溶接金属20の凝固割れ感受性が増大する。したがって、B含有量は0.0001 ~ 0.0100 %である。B含有量の好ましい下限は0.0005 %であり、より好ましくは0.0010 %であり、さらに好ましくは0.0015 %である。B含有量の好ましい上限は0.0080 %であり、さらに好ましくは0.0070 %であり、さらに好ましくは0.0060 %であり、さらに好ましくは0.0050 %であり、さらに好ましくは0.0040 %であり、さらに好ましくは0.0030 %であり、さらに好ましくは0.0020 %である。

[0050] 本実施形態による母材10の残部は、Fe及び不純物からなる。ここで、不純物とは、母材10を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、又は製造環境などから混入されるものであって、本実施形態によるニ

相ステンレス鋼溶接継手 1 に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。母材 10 中の不純物はたとえば、O（酸素）、及び、REM である。

[0051] [任意元素]

上述の母材 10 はさらに、Fe の一部に代えて、次の第 1 群～第 5 群からなる群から選択される、1 元素以上を含有してもよい。

[0052] [第 1 群]

上述の母材 10 の化学組成はさらに、Fe の一部に代えて、W を含有してもよい。W は任意元素であり、酸化物を形成して、母材 10 の耐食性を高める。

[0053] W : 0 ~ 4 . 0 0 %

タングステン (W) は任意元素であり、含有されなくてもよい。すなわち、W 含有量は 0 % であってもよい。含有される場合、W は安定な酸化物を形成して、pH の低い環境における母材 10 の耐食性を高める。W が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、W 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、金属間化合物の析出を促進し母材 10 の靱性が低下する。したがって、W 含有量は 0 ~ 4 . 0 0 % である。W 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、より好ましくは 0 . 0 1 % であり、さらに好ましくは 0 . 5 0 % であり、さらに好ましくは 1 . 0 0 % である。W 含有量の好ましい上限は 3 . 5 0 % であり、より好ましくは 3 . 0 0 % であり、さらに好ましくは 2 . 5 0 % である。

[0054] [第 2 群]

上述の母材 10 の化学組成はさらに、Fe の一部に代えて、Nb、V 及び Ta からなる群から選択される 1 元素以上を含有してもよい。これらの元素はいずれも任意元素であり、炭化物を生成して、母材 10 の耐食性を高める。

[0055] Nb : 0 ~ 0 . 1 0 %

ニオブ (Nb) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Nb 含有量は 0 % であってもよい。含有される場合、Nb は、C と結合して炭化

物を生成する。これにより、粒界でのC r炭化物の生成が抑制され、母材10の耐食性が高まる。Nbが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Nb含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に母材10の耐食性が低下する。したがって、Nb含有量は0～0.10%である。Nb含有量の好ましい下限は0%超であり、より好ましくは0.01%であり、さらに好ましくは0.02%である。Nb含有量の好ましい上限は0.08%であり、より好ましくは0.07%であり、さらに好ましくは0.05%であり、さらに好ましくは0.03%である。

[0056] V : 0～0.20%

バナジウム(V)は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、V含有量は0%であってもよい。含有される場合、Vは、Cと結合して炭化物を生成する。これにより、粒界でのC r炭化物の生成が抑制され、母材10の耐食性が高まる。Vが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、V含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に母材10の耐食性が低下する。したがって、V含有量は0～0.20%である。V含有量の好ましい下限は0%超であり、より好ましくは0.01%であり、さらに好ましくは0.02%であり、さらに好ましくは0.05%である。V含有量の好ましい上限は0.18%であり、より好ましくは0.15%であり、さらに好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.08%であり、さらに好ましくは0.07%であり、さらに好ましくは0.05%である。

[0057] Ta : 0～0.30%

タンタル(Ta)は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Ta含有量は0%であってもよい。含有される場合、Taは、Cと結合して炭化物を生成する。これにより、粒界でのC r炭化物の生成が抑制され、母材10の耐食性が高まる。Taが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Ta含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実

施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に母材 10 の耐食性が低下する。したがって、T a 含有量は 0 ~ 0.30 % である。T a 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、より好ましくは 0.01 % であり、さらに好ましくは 0.02 % であり、さらに好ましくは 0.05 % であり、さらに好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.15 % である。T a 含有量の好ましい上限は 0.27 % であり、より好ましくは 0.25 % であり、さらに好ましくは 0.20 % であり、さらに好ましくは 0.15 % であり、さらに好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.08 % であり、さらに好ましくは 0.07 % であり、さらに好ましくは 0.05 % である。

[0058] [第3群]

上述の母材 10 の化学組成はさらに、F e の一部に代えて、C o を含有してもよい。C o は任意元素であり、母材 10 の耐酸性を高める。

[0059] C o : 0 ~ 1.00 %

コバルト (C o) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、C o 含有量は 0 % であってもよい。含有される場合、C o は母材 10 の耐酸性を高めるとともに、オーステナイト相を安定化する。C o が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、C o 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、コストが増加する。したがって、C o 含有量は 0 ~ 1.00 % である。C o 含有量の好ましい下限は 0.01 % であり、より好ましくは 0.05 % であり、さらに好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.15 % であり、さらに好ましくは 0.20 % であり、さらに好ましくは 0.25 % であり、さらに好ましくは 0.30 % である。C o 含有量の好ましい上限は 0.90 % であり、より好ましくは 0.80 % であり、さらに好ましくは 0.70 % であり、さらに好ましくは 0.65 % であり、さらに好ましくは 0.60 % である。

[0060] [第4群]

上述の母材 10 の化学組成はさらに、F e の一部に代えて、S n を含有し

てもよい。S nは任意元素であり、母材10の耐孔食性を高める。

[0061] S n : 0~0.020%

錫 (S n) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、S n含有量は0%であってもよい。含有される場合、S nは母材10の耐孔食性を高める。S nが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、S n含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、母材10の熱間加工性が低下する。S n含有量が高すぎればさらに、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶け込み深さが増大して溶接時の熔融金属の濡れ性が低下する。したがって、S n含有量は0~0.020%である。S n含有量の好ましい下限は0.001%であり、より好ましくは0.002%であり、さらに好ましくは0.003%である。S n含有量の好ましい上限は0.018%であり、より好ましくは0.015%であり、さらに好ましくは0.010%であり、さらに好ましくは0.009%であり、より好ましくは0.008%であり、さらに好ましくは0.007%である。

[0062] [第5群]

上述の母材10の化学組成はさらに、F eの一部に代えて、M g及びC aからなる群から選択される1元素以上を含有してもよい。M g及びC aは任意元素であり、母材10の熱間加工性を高める。

[0063] M g : 0~0.0200%

マグネシウム (M g) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、M g含有量は0%であってもよい。含有される場合、M gは母材10の熱間加工性を高める。M gが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、M g含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、M gが酸素と結合し、清浄性を著しく低下させて、却って母材10の熱間加工性が低下する。したがって、M g含有量は0~0.0200%である。M g含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%であり、さらに好ましくは0.0003%で

あり、さらに好ましくは0.0005%であり、さらに好ましくは0.0010%である。Mg含有量の好ましい上限は0.0150%であり、より好ましくは0.0130%であり、さらに好ましくは0.0100%であり、さらに好ましくは0.0090%であり、さらに好ましくは0.0080%であり、さらに好ましくは0.0070%であり、さらに好ましくは0.0060%であり、さらに好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.0040%であり、さらに好ましくは0.0030%であり、さらに好ましくは0.0020%である。

[0064] Ca : 0~0.0100%

カルシウム (Ca) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Ca含有量は0%であってもよい。含有される場合、Caは、脱酸剤として有効である。Caはさらに、Sを固定して母材10の熱間加工性を高める。Caが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Ca含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、Caが酸素と結合し、母材10の清浄性を著しく低下させて、母材10の熱間加工性が低下する。したがって、Ca含有量は0~0.0100%である。Ca含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%であり、さらに好ましくは0.0005%であり、さらに好ましくは0.0010%であり、さらに好ましくは0.0020%である。Ca含有量の好ましい上限は0.0090%であり、より好ましくは0.0080%であり、さらに好ましくは0.0070%であり、さらに好ましくは0.0060%であり、さらに好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.0040%であり、さらに好ましくは0.0030%である。

[0065] [母材のミクロ組織について]

本実施形態による母材10のミクロ組織は、フェライト及びオーステナイトからなる。本明細書において、「フェライト及びオーステナイトからなる」とは、フェライト及びオーステナイト以外の相が無視できるほど少ないこ

とを意味する。たとえば、本実施形態による母材 10 のミクロ組織において、析出物や介在物の体積率は、フェライト及びオーステナイトの体積率と比較して、無視できるほど低い。すなわち、本実施形態による母材 10 のミクロ組織には、フェライト及びオーステナイト以外に、析出物や介在物等を微量含んでもよい。

[0066] [母材の形状]

母材 10 の形状は特に限定されない。母材 10 はたとえば、板材、鋼管、棒鋼、線材、鍛造品、及び、形鋼からなる群から選択される 1 種であってもよい。

[0067] [母材の厚さ]

母材 10 の厚さは特に限定されない。母材 10 の厚さはたとえば、1.0 ～ 50.0 mm である。

[0068] [溶接金属について]

溶接金属 20 について説明する。

[0069] [溶接金属の化学組成]

本実施形態による溶接金属 20 の化学組成は、次の元素を含有する。

[0070] C : 0.001 ～ 0.030 %

炭素 (C) はオーステナイト相を安定化するのに有効な元素である。C 含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接ままでの溶接金属 20 中のオーステナイト量が少なくなり、溶接金属 20 の耐食性及び強度が低下する。一方で、C 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、炭化物が析出しやすくなり、溶接金属 20 の耐食性が低下する。したがって、C 含有量は 0.001 ～ 0.030 % である。C 含有量の好ましい下限は 0.002 % であり、より好ましくは 0.003 % であり、さらに好ましくは 0.005 % であり、さらに好ましくは 0.010 % であり、さらに好ましくは 0.015 % である。C 含有量の好ましい上限は 0.025 % であり、より好ましくは 0.020 % である。

[0071] Si : 0.05 ~ 0.70 %

シリコン (Si) は鋼を脱酸する。Si 含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が十分に得られない。一方で、Si はフェライト相を安定化する。Si 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接ままでの溶接金属 20 中のフェライト量が増大して溶接金属 20 の耐食性及び強度が低下する。Si はさらに、溶接時の溶融金属の粘性を高める。アンダーカット 3 を抑制するため、溶接金属 20 の化学組成においては、母材 10 の Si 含有量と比較して、さらに Si 含有量を制限する必要がある。したがって、Si 含有量は 0.05 ~ 0.70 % である。Si 含有量の好ましい下限は 0.08 % であり、より好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.20 % であり、さらに好ましくは 0.30 % であり、さらに好ましくは 0.40 % であり、さらに好ましくは 0.50 % であり、さらに好ましくは 0.60 % である。Si 含有量の好ましい上限は 0.65 % であり、より好ましくは 0.60 % であり、さらに好ましくは 0.55 % であり、さらに好ましくは 0.50 % である。

[0072] Mn : 0.05 ~ 0.85 %

マンガン (Mn) はオーステナイト相を安定化する。Mn 含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接ままでの溶接金属中のオーステナイト量が少なくなり、溶接金属 20 の耐食性及び強度が低下する。一方で、Mn は溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数を高める。言い換えると、Mn は溶接時の溶融金属の表面張力の温度依存性を高める。Mn 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接時の溶融金属の濡れ性が低下する。アンダーカット 3 を抑制するため、溶接金属 20 の化学組成においては、母材 10 の Mn 含有量と比較して、さらに Mn 含有量を制限する必要がある。したがって、Mn 含有量は 0.05 ~ 0.85 % である。Mn 含有量の好ましい下限は 0.08 % であり、より好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.15 % であり、さ

らに好ましくは0.20%である。Mn含有量の好ましい上限は0.80%であり、より好ましくは0.75%であり、さらに好ましくは0.70%である。

[0073] P : 0.030%以下

リン(P)は不可避免的に含有される不純物である。すなわち、P含有量の下限は0%超である。Pは溶接金属20の溶接割れ感受性を著しく高める。したがって、P含有量は0.030%以下である。P含有量の好ましい上限は0.028%であり、より好ましくは0.025%であり、さらに好ましくは0.023%であり、さらに好ましくは0.020%である。P含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、P含有量の極端な低減は、製造コストの増大を招く。したがって、工業生産性を考慮した場合、P含有量の好ましい下限は0.001%であり、より好ましくは0.002%である。

[0074] S : 0.0030%以下

硫黄(S)は不可避免的に含有される不純物である。すなわち、S含有量の下限は0%超である。Sは溶接金属20の溶接割れ感受性を著しく高める。したがって、S含有量は0.0030%以下である。S含有量の好ましい上限は0.0025%であり、さらに好ましくは0.0020%であり、さらに好ましくは0.0015%であり、さらに好ましくは0.0010%である。S含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、S含有量の極端な低減は、製造コストの増大を招く。したがって、工業生産性を考慮した場合、S含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%である。

[0075] Cr : 21.00~28.00%

クロム(Cr)は溶接金属20の耐食性を高める。Cr含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20の耐孔食性が低下する。一方、Cr含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、シグマ相のような金属間化合物が析出しやすく、溶接金属20の熱間加工性、靱性、及び、耐食性が低下する。したがって、

Cr含有量は21.00～28.00%である。Cr含有量の好ましい下限は21.50%であり、より好ましくは22.00%であり、さらに好ましくは22.50%であり、さらに好ましくは23.00%であり、さらに好ましくは23.50%であり、さらに好ましくは24.00%である。Cr含有量の好ましい上限は27.50%であり、より好ましくは27.00%であり、さらに好ましくは26.50%であり、さらに好ましくは26.00%である。

[0076] Ni : 5.00～11.00%

ニッケル (Ni) はオーステナイト相を安定化させる。Ni含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属中のオーステナイト量が少なくなり、溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。一方、Ni含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20中のフェライト量が少なくなり、溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。この場合さらに、溶接金属中にシグマ相が析出する。溶接金属20においては、溶接時の急速冷却過程においてフェライトからオーステナイトへの変態を促進して母材10と同等の性能を有するフェライト量に制御するため、母材10に対してNi含有量が高いことが好ましい。したがって、Ni含有量は5.00～11.00%である。Ni含有量の好ましい下限は5.50%であり、より好ましくは6.00%であり、さらに好ましくは6.50%であり、さらに好ましくは7.00%であり、さらに好ましくは7.50%である。Ni含有量の好ましい上限は10.50%であり、より好ましくは10.00%であり、さらに好ましくは9.50%であり、さらに好ましくは9.00%であり、さらに好ましくは8.50%であり、さらに好ましくは8.00%である。

[0077] Mo : 2.00～4.50%

モリブデン (Mo) はCrと同様に溶接金属20の耐食性を高める。Mo含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20の耐孔食性及び耐隙間腐食性が低下する。一方、Mo含有量が高

すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、シグマ相が析出しやすくなり、溶接金属20の製造性の低下、及び、溶接金属20の靱性及び耐食性が低下する。したがって、Mo含有量は2.00～4.50%である。Mo含有量の好ましい下限は2.50%であり、より好ましくは3.00%である。Mo含有量の好ましい上限は4.30%であり、より好ましくは4.00%である。

[0078] Cu : 0.01～4.00%

銅 (Cu) は硫酸や硫化水素環境における溶接金属20の耐酸性を高める。Cu含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20の耐酸性が低下する。しかしながら、Cu含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、Nの固溶量が低下して溶接中の脱窒素が加速し、ブローホール等の溶接欠陥が生じやすくなる。したがって、Cu含有量は0.01～4.00%である。Cu含有量の好ましい下限は0.20%であり、より好ましくは0.30%であり、さらに好ましくは0.40%であり、さらに好ましくは0.50%である。Cu含有量の好ましい上限は3.50%であり、より好ましくは3.00%であり、さらに好ましくは2.50%であり、さらに好ましくは2.00%であり、さらに好ましくは1.50%であり、さらに好ましくは1.00%である。

[0079] Sol. Al : 0.0010～0.0500%

アルミニウム (Al) は鋼を脱酸する。Alはさらに、溶接時の熔融金属中の酸素量を低減し、溶接金属20の凸形状を抑制する。Al含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が得られない。しかしながら、Al含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、AlNが析出して溶接金属20の靱性及び耐食性が低下する。したがって、Sol. Al含有量は0.0010～0.0500%である。Al含有量の好ましい下限は0.0030%であり、より好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.0100%であり、さ

らに好ましくは0.0150%である。Al含有量の好ましい上限は0.0400%であり、より好ましくは0.0350%であり、さらに好ましくは0.0300%であり、さらに好ましくは0.0250%であり、さらに好ましくは0.0200%である。なお、本明細書にいうAl含有量は、「酸可溶Al」、つまり、Sol. Alの含有量を意味する。

[0080] N : 0.080~0.400%

窒素(N)はオーステナイト相を安定化するとともに、PREWを高めて溶接金属20の耐孔食性及び耐隙間腐食性を高める。N含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20のフェライト相とオーステナイト相とのバランスが崩れ、溶接金属20の耐食性及び強度が低下する。しかしながら、N含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接時にブローホール等の欠陥が発生する。したがって、N含有量は0.080~0.400%である。N含有量の好ましい下限は0.100%であり、より好ましくは0.150%であり、さらに好ましくは0.200%であり、さらに好ましくは0.250%である。N含有量の好ましい上限は0.370%であり、より好ましくは0.350%であり、さらに好ましくは0.320%である。

[0081] B : 0.0001~0.0100%

ボロン(B)は高温で粒界に偏析して、溶接金属20の熱間加工性を高める。Bはさらに、脱酸剤としても有効である。B含有量が低すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、この効果が得られない。しかしながら、B含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接部の凝固過程において凝固偏析が生じ、溶接金属20の凝固割れ感受性が増大する。したがって、B含有量は0.0001~0.0100%である。B含有量の好ましい下限は0.0005%であり、より好ましくは0.0010%である。B含有量の好ましい上限は0.0080%であり、より好ましくは0.0070%であり、さらに好ましくは0.0060%であり、さらに好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.

0.040%であり、さらに好ましくは0.0030%であり、さらに好ましくは0.0020%である。

[0082] 本実施形態による溶接金属20の残部は、Fe及び不純物からなる。ここで、不純物とは、溶接金属20を溶接により形成する際に、溶接材料や母材10等から混入されるものであって、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。溶接金属20中の不純物はたとえば、O（酸素）、及び、REMである。

[0083] [任意元素]

上述の溶接金属20はさらに、Feの一部に代えて、次の第1群～第5群からなる群から選択される、1元素以上を含有してもよい。

[0084] [第1群]

上述の溶接金属20の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Wを含有してもよい。Wは任意元素であり、酸化物を形成して、溶接金属20の耐食性を高める。

[0085] W: 0～4.00%

タングステン(W)は任意元素であり、含有されなくてもよい。すなわち、W含有量は0%であってもよい。含有される場合、Wは安定な酸化物を形成して、pHの低い環境における溶接金属20の耐食性を高める。Wが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、W含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、金属間化合物の析出を促進し溶接金属20の靱性が低下する。したがって、W含有量は0～4.00%である。W含有量の好ましい下限は0%超であり、より好ましくは0.01%であり、さらに好ましくは0.05%であり、さらに好ましくは0.50%であり、さらに好ましくは1.00%であり、さらに好ましくは1.50%であり、さらに好ましくは2.00%である。W含有量の好ましい上限は3.50%であり、より好ましくは3.00%であり、さらに好ましくは2.50%である。

[0086] [第2群]

上述の溶接金属 20 の化学組成はさらに、Fe の一部に代えて、Nb、V 及び Ta からなる群から選択される 1 元素以上を含有してもよい。これらの元素はいずれも任意元素であり、炭化物を生成して、溶接金属 20 の耐食性を高める。

[0087] Nb : 0 ~ 0.10 %

ニオブ (Nb) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Nb 含有量は 0 % であってもよい。含有される場合、Nb は、C と結合して炭化物を生成する。これにより、粒界での Cr 炭化物の生成が抑制され、溶接金属 20 の耐食性が高まる。Nb が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Nb 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に溶接金属 20 の耐食性が低下する。したがって、Nb 含有量は 0 ~ 0.10 % である。Nb 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、より好ましくは 0.01 % であり、さらに好ましくは 0.02 % である。Nb 含有量の好ましい上限は 0.08 % であり、より好ましくは 0.07 % であり、さらに好ましくは 0.05 % である。

[0088] V : 0 ~ 0.20 %

バナジウム (V) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、V 含有量は 0 % であってもよい。含有される場合、V は、C と結合して炭化物を生成する。これにより、粒界での Cr 炭化物の生成が抑制され、溶接金属 20 の耐食性が高まる。V が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、V 含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に溶接金属 20 の耐食性が低下する。したがって、V 含有量は 0 ~ 0.20 % である。V 含有量の好ましい下限は 0 % 超であり、より好ましくは 0.01 % であり、さらに好ましくは 0.02 % である。V 含有量の好ましい上限は 0.18 % であり、より好ましくは 0.15 % であり、さらに好ましくは 0.10 % であり、さらに好ましくは 0.08 % であり、より好ましくは 0.07 % であり

、さらに好ましくは0.05%である。

[0089] Ta : 0~0.30%

タンタル (Ta) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Ta含有量は0%であってもよい。含有される場合、Taは、Cと結合して炭化物を生成する。これにより、粒界でのCr炭化物の生成が抑制され、溶接金属20の耐食性が高まる。Taが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Ta含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、過剰な炭化物を析出させるため、逆に溶接金属20の耐食性が低下する。したがって、Ta含有量は0~0.30%である。Ta含有量の好ましい下限は0%超であり、より好ましくは0.01%であり、さらに好ましくは0.02%である。Ta含有量の好ましい上限は0.27%であり、より好ましくは0.25%であり、さらに好ましくは0.20%であり、さらに好ましくは0.15%であり、さらに好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.08%であり、より好ましくは0.07%であり、さらに好ましくは0.05%である。

[0090] [第3群]

上述の溶接金属20の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Coを含有してもよい。Coは任意元素であり、溶接金属20の耐酸性を高める。

[0091] Co : 0~1.00%

コバルト (Co) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Co含有量は0%であってもよい。含有される場合、Coは溶接金属20の耐酸性を高めるとともに、オーステナイト相を安定化する。Coが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Co含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、コストが増加する。したがって、Co含有量は0~1.00%である。Co含有量の好ましい下限は0.01%であり、より好ましくは0.05%であり、さらに好ましくは0.10%であり、さらに好ましくは0.20%である。Co含有量の好ましい上限は0.90%であり、より好ましくは0.80%であり、

さらに好ましくは0.70%であり、さらに好ましくは0.60%であり、さらに好ましくは0.50%である。

[0092] [第4群]

上述の溶接金属20の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Snを含有してもよい。Snは任意元素であり、溶接金属20の耐孔食性を高める。

[0093] Sn : 0~0.020%

錫 (Sn) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Sn含有量は0%であってもよい。含有される場合、Snは溶接金属20の耐孔食性を高める。Snが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Sn含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶接金属20の熱間加工性が低下する。Sn含有量が高すぎればさらに、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、溶け込み深さが増大して溶接時の熔融金属の濡れ性が低下する。したがって、Sn含有量は0~0.020%である。Sn含有量の好ましい下限は0.001%であり、より好ましくは0.002%であり、さらに好ましくは0.003%である。Sn含有量の好ましい上限は0.018%であり、より好ましくは0.015%であり、さらに好ましくは0.010%であり、さらに好ましくは0.009%であり、さらに好ましくは0.008%であり、さらに好ましくは0.007%であり、さらに好ましくは0.005%である。

[0094] [第5群]

上述の溶接金属20の化学組成はさらに、Feの一部に代えて、Mg及びCaからなる群から選択される1元素以上を含有してもよい。Mg及びCaは任意元素であり、溶接金属20の熱間加工性を高める。

[0095] Mg : 0~0.0200%

マグネシウム (Mg) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Mg含有量は0%であってもよい。含有される場合、Mgは脱酸効果により溶接時の熔融金属の濡れ性を向上する。Mgが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Mg含有量が高すぎれば、他の

元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、Mgが酸素と結合し、清浄性を著しく低下させて、溶接金属20の靱性が低下する。したがって、Mg含有量は0～0.0200%である。Mg含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%であり、さらに好ましくは0.0003%である。Mg含有量の好ましい上限は0.0150%であり、より好ましくは0.0130%であり、さらに好ましくは0.0100%であり、さらに好ましくは0.0080%であり、さらに好ましくは0.0060%であり、さらに好ましくは0.0040%であり、さらに好ましくは0.0020%であり、さらに好ましくは0.0010%である。

[0096] Ca : 0～0.0100%

カルシウム (Ca) は任意元素であり、含有されなくてもよい。つまり、Ca含有量は0%であってもよい。含有される場合、Caは、脱酸剤として有効である。Caはさらに、Sを固定して溶接金属20の耐凝固割れ性を高める。Caが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。しかしながら、Ca含有量が高すぎれば、他の元素含有量が本実施形態の範囲内であっても、Caが酸素と結合し、溶接金属20の清浄性を著しく低下させて、溶接金属20の靱性が低下する。したがって、Ca含有量は0～0.0100%である。Ca含有量の好ましい下限は0.0001%であり、より好ましくは0.0002%であり、さらに好ましくは0.0005%であり、さらに好ましくは0.0010%であり、さらに好ましくは0.0015%である。Ca含有量の好ましい上限は0.0070%であり、より好ましくは0.0050%であり、さらに好ましくは0.0030%であり、さらに好ましくは0.0020%である。

[0097] [溶接金属の化学組成の測定方法]

溶接金属20の化学組成は次の方法で測定する。溶接金属20のCap幅中央位置において、溶接金属20の表面を削り、切粉を採取する。採取された切粉を酸に溶解させて溶液を得る。溶液に対して、ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical E

mission Spectrometry)を実施して、化学組成の元素分析を実施する。C含有量及びS含有量については、周知の高周波燃焼法により求める。具体的には、上記溶液を酸素気流中で高周波加熱により燃焼して、発生した二酸化炭素、二酸化硫黄を検出して、C含有量及びS含有量を求める。以上の分析法により、溶接金属20の化学組成を求めることができる。

[0098] [二相ステンレス溶接金属のミクロ組織について]

本実施形態による溶接金属20のミクロ組織は、フェライト及びオーステナイトからなる。本明細書において、「フェライト及びオーステナイトからなる」とは、フェライト及びオーステナイト以外の相が無視できるほど少ないことを意味する。たとえば、本実施形態による溶接金属20のミクロ組織において、析出物や介在物の体積率は、フェライト及びオーステナイトの体積率と比較して、無視できるほど低い。すなわち、本実施形態による溶接金属20のミクロ組織には、フェライト及びオーステナイト以外に、析出物や介在物等を微量含んでもよい。

[0099] [式(1)及び式(2)について]

本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1は、母材10及び溶接金属20中の各元素の含有量が、上記範囲を満たすとともに、式(1)及び式(2)を満たす。

$$Si + 3Mn \leq 3.00 \quad (1)$$

$$0 < BH / BW < 0.15 \quad (2)$$

ここで、式(1)中の各元素記号には、溶接金属20中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(2)中のBHには溶接金属20のCap高さ(mm)、BWには溶接金属20のCap幅(mm)が代入される。

[0100] [式(1)について]

$F1 = Si + 3Mn$ と定義する。F1が3.00超であれば、溶接時の溶融金属の粘性が高まり、さらに、溶接時の溶融金属の表面張力の温度係数が

高まる。この場合、溶接時の溶融金属の濡れ性が低下し、アンダーカット 3 を抑制できない。したがって、F 1 は 3.00 以下である。F 1 の上限は好ましくは 2.95 であり、より好ましくは 2.90 であり、さらに好ましくは 2.85 であり、さらに好ましくは 2.80 であり、さらに好ましくは 2.75 であり、さらに好ましくは 2.70 であり、さらに好ましくは 2.65 であり、さらに好ましくは 2.60 であり、さらに好ましくは 2.55 であり、さらに好ましくは 2.50 であり、さらに好ましくは 2.45 であり、さらに好ましくは 2.40 である。F 1 の下限は 0.20 である。F 1 の下限は好ましくは 0.40 であり、より好ましくは 0.60 であり、さらに好ましくは 0.80 であり、さらに好ましくは 1.00 であり、さらに好ましくは 1.20 であり、さらに好ましくは 1.40 であり、さらに好ましくは 1.60 であり、さらに好ましくは 1.80 であり、さらに好ましくは 2.00 であり、さらに好ましくは 2.20 であり、さらに好ましくは 2.40 である。

[0101] [式 (2) について]

図 2 及び図 3 を参照して、溶接金属 20 の Cap 高さ (BH) とは、母材 10 の表面を基準 (0 mm) とした場合の、溶接金属 20 の最大高さをいう。また、溶接金属 20 の Cap 幅 (BW) とは、溶接金属 20 の延在方向と垂直な方向における、母材 10 の表面における溶接金属 20 の幅をさす。母材 10 が鋼管の場合には、溶接金属 20 の Cap 幅は、鋼管の外表面上の、溶接金属 20 の延在方向と垂直な方向における、母材 10 と溶接金属 20 との境界間の直線距離をいう。溶接金属 20 の Cap 高さ、及び、Cap 幅は、周知の溶接ゲージ等で測定する。なお、母材 10 が鋼管の場合は、周知のゲージの長手方向が、母材 10 の軸方向に平行になるように、ゲージを母材 10 の外表面に接触させて、Cap 高さを測定する。

[0102] $F2 = BH / BW$ と定義する。F 2 が 0.15 以上であれば、Cap 幅に対する Cap 高さが高すぎる。この場合、溶接時の溶融金属の表面張力が増加することによって、形成された溶接金属 20 が凸形状になりやすくなり、

アンダーカット3が生じやすくなる。しかしながら、F2がマイナスになると、溶接金属20の厚さが、母材10の厚さと比較して薄い。この場合、アンダーフィルという溶接欠陥となる。この場合、二相ステンレス鋼溶接継手1の強度が低下する。したがって、F2は0超、かつ、0.15未満である。F2の上限は好ましくは0.14であり、より好ましくは0.13であり、さらに好ましくは0.12であり、さらに好ましくは0.11であり、さらに好ましくは0.10であり、さらに好ましくは0.09であり、さらに好ましくは0.08である。F2の下限は好ましくは0.01であり、より好ましくは0.02であり、さらに好ましくは0.04であり、さらに好ましくは0.05であり、さらに好ましくは0.06であり、さらに好ましくは0.07であり、さらに好ましくは0.08であり、さらに好ましくは0.09であり、さらに好ましくは0.10である。

[0103] 本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1においては、式(1)を満たして溶接時の溶融金属の濡れ性を高めた上で、さらに、溶接金属20の形状を、式(2)を満たすように調整する。母材10及び溶接金属20が上述の化学組成を有し、かつ、溶接金属20が式(1)及び式(2)を満たすことではじめて、アンダーカット3が抑制でき、疲労特性が高まる。

[0104] [式(3)及び式(4)について]

本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1は、母材10及び溶接金属20中の各元素の含有量が、上記範囲を満たすとともに、式(1)及び式(2)を満たし、母材10の厚さが2.5mm以下の場合にはさらに、式(3)及び式(4)を満たすことが好ましい。

$$Si + 4Mn \leq 3.75 \quad (3)$$

$$0 < BH / BW \leq 0.5 / (6.0 - 0.85WT) \quad (4)$$

ここで、式(3)中の各元素記号には、溶接金属20中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(4)中のBHには溶接金属20のCap高さ(mm)、BWには溶接金属20のCap幅(mm)、WTは母材10の厚さ(mm)が代

入される。

[0105] [式(3)について]

$F3 = Si + 4Mn$ と定義する。 $F3$ が3.75以下であれば、溶接時の溶融金属の濡れ性がさらに高まり、さらにアンダーカット3を抑制できる。したがって、 $F3$ は3.75以下であることが好ましい。 $F3$ の上限はさらに好ましくは3.70であり、さらに好ましくは3.65であり、さらに好ましくは3.60であり、さらに好ましくは3.55であり、さらに好ましくは3.50であり、さらに好ましくは3.45であり、さらに好ましくは3.40であり、さらに好ましくは3.35であり、さらに好ましくは3.30であり、さらに好ましくは3.25であり、さらに好ましくは3.20であり、さらに好ましくは3.15であり、さらに好ましくは3.10であり、さらに好ましくは3.05であり、さらに好ましくは3.00である。 $F3$ の下限は、0.25であることが好ましい。 $F3$ の下限はさらに好ましくは0.50であり、さらに好ましくは0.70であり、さらに好ましくは1.00であり、さらに好ましくは1.50であり、さらに好ましくは2.00であり、さらに好ましくは2.30であり、さらに好ましくは2.50であり、さらに好ましくは3.00である。

[0106] [式(4)について]

母材10が薄ければ、アンダーカット3に対して母材10が薄く、疲労寿命が低下しやすい。そのため、 $F2 (BH/BW)$ が0超0.15未満という前提で、母材10の厚さに応じて、 $F2$ をさらに制限することが好ましい。具体的には、母材10の厚さが2.5mm以下の場合には、 $F2$ が $0.5 / (6.0 - 0.85WT)$ 以下であれば、アンダーカット3をさらに抑制できる。 $F2$ のさらに好ましい上限は $0.4 / (6.0 - 0.85WT)$ であり、さらに好ましくは $0.3 / (6.0 - 0.85WT)$ であり、さらに好ましくは $0.2 / (6.0 - 0.85WT)$ である。

[0107] [二相ステンレス鋼溶接継手の製造方法]

以下、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手1の製造方法を説明する。

以降に説明する二相ステンレス鋼溶接継手 1 の製造方法は、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手 1 の製造方法の一例である。したがって、上述の構成を有する二相ステンレス鋼溶接継手 1 は、以降に説明する製造方法以外の他の製造方法により製造されてもよい。しかしながら、以降に説明する製造方法は、本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手 1 の製造方法の好ましい一例である。

[0108] 本実施形態の二相ステンレス鋼溶接継手 1 の製造方法は、一对の母材 10 を準備する工程（母材準備工程）と、一对の母材 10 の端部を突き合わせて溶接を実施して、溶接金属 20 を形成する工程（溶接金属形成工程）とを備える。以下、各工程について詳述する。

[0109] [母材準備工程]

始めに、一对の母材 10 を準備する。母材 10 は第三者から提供されたものであってもよいし、二相ステンレス鋼溶接継手 1 の製造者が、母材 10 を製造して準備してもよい。以下、母材 10 を製造する場合の母材 10 の製造方法の一例を説明する。

[0110] 母材 10 の製造方法は、母材 10 の素材を準備する工程（準備工程）と、必要に応じて、素材に対して熱間加工を実施して中間材を製造する工程（熱間加工工程）と、必要に応じて、熱間加工工程後の中間材に対して酸洗処理を実施した後冷間加工を実施する工程（冷間加工工程）と、必要に応じて、素材準備工程で準備された素材、熱間加工工程後の中間材、又は、冷間加工後の中間材に対して、溶体化熱処理を実施する工程（溶体化熱処理工程）と、必要に応じて、素材又は中間材の表面のスケールを除去する工程（スケール除去工程）とを含む。以下、各工程について説明する。

[0111] [準備工程]

準備工程では、上述の化学組成を有する素材を準備する。素材は第三者から供給されてもよいし、製造してもよい。素材はインゴットであってもよいし、スラブ、ブルーム、ピレットであってもよい。素材を製造する場合、次の方法により、素材を製造する。上述の化学組成を有する溶湯合金を製造す

る。製造された溶湯合金を用いて、造塊法によりインゴットを製造する。製造された溶湯合金を用いて、鑄造法によりスラブ、ブルーム、ビレット、素管を製造してもよい。製造されたインゴット、スラブ、ブルームに対して熱間加工を実施して、ビレット又は素管を製造してもよい。たとえば、インゴットに対して熱間鍛造を実施して、円柱状のビレットを製造し、このビレットを素材（円柱素材）としてもよい。この場合、熱間鍛造開始直前の素材の温度は特に限定されないが、たとえば、 $900 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ である。また、周知の遠心鑄造法により素材（鋼管）を製造してもよい。

[0112] [熱間加工工程]

熱間加工工程は必要に応じて実施する。つまり、熱間加工工程は実施しなくてもよい。実施する場合、素材に対して熱間加工を実施して、所定の形状の中間材を製造する。母材10が板材である場合、熱間圧延により板状の中間材を製造する。母材10が合金管である場合、機械加工により、円柱素材の中心軸に沿った貫通孔を形成する。貫通孔が形成された円柱素材に対して、熱間押出を実施して、中間材（管材）を製造する。熱間加工工程での素材の加熱温度は特に限定されないが、たとえば $900 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ である。

[0113] 熱間加工工程では、熱間押出に代えて、円柱素材に対してマンネスマン法による穿孔圧延を実施して、中間材（管材）を製造してもよい。穿孔圧延前の素材の温度はたとえば、 $900 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ である。

[0114] [冷間加工工程]

冷間加工工程は必要に応じて実施する。つまり、冷間加工工程は実施しなくてもよい。実施する場合、中間材に対して、酸洗処理を実施した後、冷間加工を実施する。母材10が板材である場合、冷間圧延を実施する。母材10が鋼管である場合、冷間抽伸を実施する。冷間加工工程における減面率は特に限定されないが、たとえば、 $10 \sim 90\%$ である。

[0115] [溶体化熱処理工程]

溶体化熱処理工程は必要に応じて実施する。つまり、溶体化熱処理工程は実施しなくてもよい。実施する場合、準備工程で準備された素材、熱間加工

工程後の中間材、又は、冷間加工工程後の中間材に対して、溶体化熱処理を実施する。溶体化熱処理により、素材又は中間材の析出物を固溶する。

- [0116] 溶体化熱処理は、次の方法で実施する。炉内雰囲気が大気雰囲気である熱処理炉内に、素材又は中間材を装入する。ここでいう大気雰囲気は、大気を構成する気体である窒素を体積で78%以上、酸素を体積で20%以上含有する雰囲気を意味する。大気雰囲気の炉内において、素材又は中間材を1000～1300℃に加熱し、1000～1300℃で保持する。保持時間は1～60分である。熱処理後の素材又は中間材を急冷する。急冷方法はたとえば、周知の水冷、周知の油冷である。

- [0117] [スケール除去工程]

スケール除去工程は必要に応じて実施する。つまり、スケール除去工程は実施しなくてもよい。実施する場合、準備工程で準備された素材、熱間加工工程後の中間材、冷間加工工程後の中間材、又は、溶体化熱処理後の素材又は中間材の表面のスケールを除去する。スケールを除去する方法は、ブラスト加工や研削等によりスケールを除去する方法であってもよいし、酸洗処理によりスケールを除去する方法であってもよい。

- [0118] 酸洗処理を実施する場合、酸洗条件は特に限定されない。好ましくは、酸洗溶液として、硝酸及び弗酸の混合溶液を用いる。混合溶液はたとえば、体積%で5.0～8.0%の硝酸と、体積%で5.0～8.0%の弗酸とを含む水溶液である。酸洗溶液槽内の酸洗溶液の温度を30～50℃に調整し、素材又は中間材を酸洗溶液槽に浸漬する。浸漬時間はたとえば、0.5～5.0時間である。以上の酸洗処理により、素材表面又は中間材の表面から、スケールが十分に除去される。

- [0119] ブラスト加工とは、研削材に運動エネルギーを与えて素材又は中間材の表面に衝突させ、金属表面を切削又は打撃する加工を意味する。ブラスト加工によりスケールを除去する場合、ブラスト加工はたとえば、研削材に砂を用いたサンドブラスト、研削材に鋼粒を用いたショットブラスト、研削材に鋳鉄グリッドや鋳鋼グリッド、アルミナグリッド、炭化珪素グリッド等を用い

たグリッドブラスト、研削材に、鋳鉄ショットや鋳鋼ショット、カットワイヤ等を用いたショットブラスト等である。

[0120] 以上の工程により、母材 10 が製造される。

[0121] 準備された母材 10 に対して、開先を形成してもよい。具体的には、母材 10 の端部に、周知の加工方法により開先を形成してもよい。開先形状は、図 3 に示す V 形状であってもよいし、図 3 以外の他の形状であってもよい。

[0122] [溶接金属形成工程]

溶接金属形成工程では、準備された母材 10 に対して溶接を実施し、溶接金属 20 を形成して、二相ステンレス鋼溶接継手 1 を製造する。具体的には、2 つの母材 10 を準備する。準備された母材 10 の端部同士を突き合わせる。そして、突き合わされた一対の端部に対して、溶接材料を用いて溶接を実施して、上述の化学組成を有する溶接金属 20 を形成する。

[0123] [溶接材料について]

上述の溶接金属 20 を形成するための溶接材料は、質量%で、C : 0.001~0.030%、Si : 0.05~0.60%、Mn : 0.05~0.60%、P : 0.025%以下、S : 0.0030%以下、Cr : 21.00~28.00%、Ni : 6.00~11.00%、Mo : 2.00~4.50%、Cu : 0~4.00%、sol. Al : 0.0010~0.0500%、N : 0.0800~0.4000%、B : 0.0001~0.0030%、W : 0~4.00%、Nb : 0~0.100%、V : 0~0.10%、Ta : 0~0.10%、Co : 0~1.00%、Sn : 0~0.010%、Mg : 0~0.02000%、Ca : 0~0.0100%、REM : 0~0.100%、O : 0.0150%以下、及び、残部は Fe 及び不純物からなる。

[0124] 上述の溶接材料は、第三者から供給されたものであってもよいし、製造したものをを用いてもよい。溶接材料を製造する場合、上述の化学組成を有する溶接材料の溶湯を用いて鋳造を実施してインゴットにする。インゴットを熱間加工して溶接材料を製造する。熱間加工後の溶接材料に対して、さらに冷

間加工を実施してもよい。また、溶接材料に対して周知の熱処理を実施してもよい。熱処理はたとえば、母材 10 と同様の溶体化熱処理である。熱処理は実施しなくてもよい。溶接材料は棒状（ワイヤ含む）であってもよいし、小さなブロック状であってもよい。

[0125] 上述の化学組成を有する溶接材料を用いて、溶接金属 20 を形成する。溶接方法はたとえば、ティグ溶接（GTAW）、被覆アーク溶接（SMAW）、フラックス入りワイヤアーク溶接（FCAW）、ガスメタルアーク溶接（GMAW）、及び、サブマージアーク溶接（SAW）である。

[0126] このとき、突き合わせた一对の母材 10 の端部の間隔、及び、溶接時の溶接材料の送給量を調整して、母材 10 による希釈量を調整し、溶接金属 20 の化学組成の各元素含有量を本実施形態の範囲内とし、かつ、 $F1 \leq 3.00$ 、及び、 $0 < F2 < 0.15$ とする。母材 10 に開先が形成されている場合にはさらに、開先のルート面の厚さを調整してもよい。これらの条件を調整することにより、溶接金属 20 の化学組成の各元素含有量を本実施形態の範囲内とし、かつ、 $F1 \leq 3.00$ 、及び、 $0 < F2 < 0.15$ に調整可能である。

[0127] 以上の製造工程により、本実施形態による溶接継手 1 を製造できる。なお、本実施形態による溶接継手 1 の製造方法は、上述の製造方法に限定されない。溶接継手 1 において、母材 10 の化学組成の各元素含有量が上述の範囲内であって、溶接金属 20 の化学組成の各元素含有量が上述の範囲内であって、かつ、 $F1 \leq 3.00$ 、及び、 $0 < F2 < 0.15$ であれば、本実施形態の溶接継手 1 は、上記製造方法に特に限定されない。

実施例

[0128] [母材の製造]

表 1 に示す母材用の溶鋼を製造した。表 1 中の空欄は、対応する元素の含有量が不純物レベルであったことを示す。

[0129]

[表1]

母材		母材の化学組成 (質量%、残部はFe及び不純物)																			
No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	sol.Al	N	B	W	Nb	V	Ta	Co	Sn	Mg	Ca	
A1	0.014	0.71	0.86	0.025	0.0001	25.09	6.14	3.18	0.51	0.0210	0.300	0.0012								0.0020	
A2	0.018	0.68	0.91	0.022	0.0004	25.34	7.06	4.02	0.28	0.0160	0.280	0.0014									
A3	0.022	0.66	0.81	0.023	0.0003	25.12	6.88	3.22	0.49	0.0140	0.275	0.0013	1.99								
A4	0.019	0.62	0.88	0.023	0.0004	25.38	7.24	3.89	0.43	0.0230	0.288	0.0016		0.02							
A5	0.015	0.58	0.79	0.021	0.0004	25.42	6.32	3.76	0.47	0.0170	0.316	0.0015			0.16						
A6	0.012	0.66	0.84	0.026	0.0003	25.28	5.88	4.11	0.35	0.0140	0.298	0.0016				0.18					
A7	0.012	0.59	0.93	0.022	0.0005	25.19	6.25	3.92	0.41	0.0060	0.305	0.0023					0.37				
A8	0.014	0.61	0.94	0.025	0.0006	25.33	7.08	4.06	0.27	0.0270	0.327	0.0028						0.01			
A9	0.018	0.60	0.85	0.027	0.0004	25.65	7.14	3.74	0.33	0.0190	0.271	0.0021							0.001		
A10	0.016	0.74	1.12	0.024	0.0007	26.53	7.47	2.86	1.46	0.0260	0.297	0.0015	2.05	0.01							
A11	0.024	0.63	0.90	0.025	0.0006	25.72	7.01	3.69	0.67	0.0280	0.318	0.0011				0.22	0.41				
A12	0.017	0.68	0.91	0.021	0.0003	25.61	6.99	4.07	0.51	0.0340	0.302	0.0027			0.11			0.02		0.003	
A13	0.018	0.72	0.97	0.019	0.0005	25.57	6.86	2.45	0.58	0.0240	0.333	0.0022	2.03						0.001		
A14	0.013	0.66	0.87	0.023	0.0004	25.41	6.77	3.95	0.46	0.0160	0.299	0.0020		0.03			0.35				
A15	0.011	0.65	0.84	0.021	0.0004	25.73	6.23	2.81	0.62	0.0290	0.284	0.0019	1.85		0.06					0.003	

[0130] 溶鋼を用いて、外径 120 mm、30 kg の円柱状のインゴットを製造した。インゴットに対して熱間鍛造を実施して、直径 180 mm の棒鋼とした。さらに、熱間圧延及び冷間圧延を実施し、外径 15.12 mm×肉厚 1.21 mm の継目無鋼管、又は、外径 30.72 mm×肉厚 2.66 mm の継目無鋼管を製造した。各継目無鋼管に対して、1100℃で10分間溶体化熱処理を実施し、水冷した。各継目無鋼管を300 mmの長さに切断した。肉厚 2.66 mm の継目無鋼管に対して、開先を模擬して溝を形成した。具体的には、長手方向中心部に、ルート厚さ 1.5 mm、片側突き出し長さ 2 mm 及び片側の傾斜が 20° の溝加工を施した。

[0131] [溶接材料の製造]

表 2 に示す化学組成を有する溶接材料用の溶鋼を製造した。表 2 中の空欄は、対応する元素の含有量が不純物レベルであったことを示す。

[0132] [表2]

TABLE 2

溶接材料 No.	溶接材料の化学組成（質量%、残部はFe及び不純物）													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	sol.Al	N	B	W	Ca
B1	0.020	0.34	0.68	0.002	0.0020	25.55	9.14	3.12	0.40	0.0130	0.2700	0.0014	2.09	0.0005
B2	0.011	0.28	0.35	0.010	0.0010	25.44	8.98	3.01	0.01	0.0150	0.2760	0.0015	2.02	0.0015
B3	0.016	0.31	0.38	0.012	0.0010	25.35	9.07	3.98	0.22	0.0160	0.2840	0.0014		

[0133] 真空溶解炉を用いて、30 kg のインゴットを製造した。インゴットに対して熱間鍛造、及び、熱間圧延を実施して、直径 30 mm の棒鋼とした。その後、冷間圧延と、中間焼鈍とを繰り返し、直径 0.8 mm のスプール巻を製造した。

[0134] [溶接金属の形成]

製造した継目無鋼管の両端を固定し、継目無鋼管の長手方向中心部（肉厚 2.66 mm の継目無鋼管の場合は、溝加工の中心部）に対して溶接を実施した。具体的には、表 2 の溶接材料を用いて、自動ガスタングステンアーク溶接により、継目無鋼管を周方向に回転させながら下向き（1 G）にて溶接を実施した。ここで、試験番号ごとに溶接条件を変え、母材による希釈率、及び、BH/BW を調整した。具体的には、肉厚 1.21 mm の継目無鋼管に対しては、入熱量を 150～230 J/mm の範囲で調整しながら、溶接

材料の供給速度を150～900 mm/分の範囲で変化させた。肉厚2.66 mmの継目無鋼管に対しては、2パス溶接を適用した。1パス目の溶接は、入熱量を約500 J/mmとし、溶接材料の供給速度を400～500 mm/分とした。2パス目の溶接は、母材による希釈率を変化させるために、入熱量を470～550 J/mmの範囲で調整しながら、溶接材料の供給速度を1500～2000 mm/分の範囲で変化させた。また、いずれの溶接においても、シールドガスにはAr+2%N₂を用い、流量を10 L/分とした。これにより、溶接金属を形成した。溶接金属は、各試験番号について5サンプルずつ作製した。

[0135] 形成された溶接金属について、溶接始末端から母材の周方向に180°離れた位置において、溶接ゲージを用いて溶接金属のCap高さ(mm)、及び、Cap幅(mm)を測定した。結果を表3に示す。

[0136] [表3]

TABLE 3

試験番号	板厚 (mm)	母材 No.	溶接材 料 No.	溶接金属				F1 (Si+3Mn)	F2 (BH/BW)	F3 (Si+4Mn)	0.5/(6.0-0.85×WT)	アンダー カット
				Si含有量 (質)	Mn含有量 (質量%)	Cap高さ (mm)	Cap幅 (mm)					
1	1.21	A1	B1	0.69	0.85	0.35	2.71	3.24	0.13	4.09	0.10	B
2	1.21	A1	B1	0.66	0.84	0.47	3.33	3.18	0.14	4.02	0.10	B
3	1.21	A1	B2	0.63	0.77	0.17	6.69	2.94	0.03	3.71	0.10	E
4	1.21	A1	B1	0.64	0.83	0.56	3.81	3.13	0.15	3.96	0.10	B
5	1.21	A1	B1	0.62	0.82	0.61	4.04	3.08	0.15	3.90	0.10	B
6	1.21	A1	B2	0.61	0.73	0.24	7.23	2.80	0.03	3.53	0.10	E
7	1.21	A1	B2	0.58	0.70	0.31	7.77	2.68	0.04	3.38	0.10	E
8	1.21	A1	B2	0.55	0.66	0.38	8.31	2.53	0.05	3.19	0.10	E
9	2.66	A1	B1	0.55	0.78	0.82	5.45	2.89	0.15	3.67	0.13	B
10	2.66	A1	B2	0.48	0.59	0.53	9.46	2.25	0.06	2.84	0.13	E
11	2.66	A1	B1	0.49	0.76	1.07	6.84	2.77	0.16	3.53	0.13	B
12	2.66	A1	B2	0.41	0.50	0.70	10.80	1.91	0.06	2.41	0.13	E
13	2.66	A1	B1	0.42	0.72	1.44	8.48	2.58	0.17	3.30	0.13	B
14	2.66	A1	B2	0.31	0.39	0.93	12.50	1.48	0.07	1.87	0.13	E
15	1.21	A1	B2	0.65	0.78	0.51	3.53	2.99	0.14	3.77	0.10	G
16	1.21	A1	B2	0.64	0.77	0.54	3.74	2.95	0.14	3.72	0.10	E
17	1.21	A2	B3	0.55	0.73	0.34	7.99	2.74	0.04	3.47	0.10	E
18	2.66	A3	B3	0.40	0.49	0.75	9.20	1.87	0.08	2.36	0.13	E
19	1.21	A4	B3	0.51	0.68	0.37	8.20	2.55	0.05	3.23	0.10	E
20	1.21	A5	B3	0.47	0.62	0.39	8.38	2.33	0.05	2.95	0.10	E
21	2.66	A6	B3	0.42	0.50	0.82	7.92	1.92	0.10	2.42	0.13	E
22	2.66	A7	B3	0.39	0.58	0.69	7.66	2.13	0.09	2.71	0.13	E
23	2.66	A8	B3	0.38	0.53	0.78	8.64	1.97	0.09	2.50	0.13	E
24	2.66	A9	B3	0.44	0.57	0.62	7.33	2.15	0.08	2.72	0.13	E
25	2.66	A10	B3	0.38	0.51	0.81	11.7	1.91	0.07	2.42	0.13	E
26	2.66	A11	B3	0.39	0.49	0.64	8.57	1.86	0.07	2.35	0.13	E
27	1.21	A12	B3	0.51	0.72	0.36	8.11	2.67	0.04	3.39	0.10	E
28	1.21	A13	B3	0.56	0.77	0.33	8.02	2.87	0.04	3.64	0.10	E
29	1.21	A14	B3	0.53	0.69	0.37	8.31	2.60	0.04	3.29	0.10	E
30	2.66	A15	B3	0.42	0.53	0.82	7.67	2.01	0.11	2.54	0.13	E
31	1.21	A13	B3	0.68	0.92	0.41	3.02	3.43	0.14	4.35	0.10	B

[0137] 溶接始末端から母材の周方向に 180° 離れた位置において、溶接金属の Cap 幅中央位置において、溶接金属の表面を削って切粉を採取した。肉厚 2.66 mm の継目無鋼管の場合は、2 パス目の溶接金属部分から切粉を採取した。得られた切粉に対してチェック分析を実施して、溶接金属の化学組成を調べた。結果を表 4 に示す。表 4 中の空欄は、対応する元素の含有量が不純物レベルであったことを示す。溶接金属の化学組成のうち、Si 及び Mn 含有量については、表 3 にも示す。

[0138]

[表4]

TABLE 4

溶接金属の化学組成 (質量%, 残部はFe及び不純物)

試験番号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	sol.Al	N	B	W	Nb	V	Ta	Co	Sn	Mg	Ca
1	0.01	0.69	0.85	0.024	0.0002	25.11	6.29	3.18	0.50	0.0206	0.300	0.0012	2.12							0.0019
2	0.02	0.66	0.84	0.022	0.0003	25.15	6.53	3.17	0.50	0.0200	0.296	0.0012	2.12							0.0018
3	0.01	0.63	0.77	0.022	0.0003	25.15	6.65	3.15	0.42	0.0200	0.296	0.0013	2.10							0.0019
4	0.02	0.64	0.83	0.021	0.0004	25.17	6.68	3.17	0.49	0.0196	0.295	0.0012	2.11							0.0017
5	0.02	0.62	0.82	0.020	0.0005	25.19	6.80	3.17	0.49	0.0192	0.293	0.0012	2.11							0.0017
6	0.01	0.61	0.73	0.021	0.0003	25.18	6.85	3.14	0.39	0.0195	0.294	0.0013	2.09							0.0019
7	0.01	0.58	0.70	0.020	0.0004	25.20	7.02	3.13	0.36	0.0191	0.293	0.0013	2.09							0.0018
8	0.01	0.55	0.66	0.002	0.0005	25.23	7.25	3.11	0.32	0.0187	0.291	0.0013	2.08							0.0018
9	0.02	0.55	0.78	0.015	0.0009	25.29	7.46	3.15	0.46	0.0175	0.287	0.0013	2.11							0.0013
10	0.01	0.48	0.59	0.002	0.0006	25.28	7.64	3.09	0.25	0.0178	0.287	0.0014	2.07							0.0017
11	0.02	0.49	0.76	0.012	0.0012	25.36	7.88	3.15	0.45	0.0164	0.283	0.0013	2.10							0.0011
12	0.01	0.41	0.50	0.015	0.0007	25.34	8.13	3.06	0.16	0.0168	0.283	0.0014	2.05							0.0017
13	0.02	0.42	0.72	0.007	0.0016	25.45	8.51	3.13	0.42	0.0147	0.276	0.0014	2.09							0.0008
14	0.01	0.31	0.39	0.011	0.0009	25.42	8.78	3.02	0.05	0.0154	0.277	0.0015	2.03							0.0015
15	0.01	0.65	0.78	0.023	0.0002	25.14	6.58	3.15	0.43	0.0201	0.296	0.0012	2.10							0.0019
16	0.01	0.64	0.77	0.022	0.0003	25.15	7.75	3.15	0.42	0.0200	0.296	0.0013	2.10							0.0019
17	0.02	0.55	0.73	0.02	0.0006	25.3	7.74	4.00	0.21	0.0160	0.28	0.001								
18	0.02	0.40	0.49	0.02	0.0007	25.3	8.53	3.77	0.29	0.0170	0.28	0.001	0.51							
19	0.02	0.51	0.68	0.02	0.0005	25.4	7.93	3.93	0.34	0.0220	0.290	0.002		0.02						
20	0.01	0.47	0.62	0.02	0.0005	25.4	7.41	3.86	0.38	0.0180	0.3	0.001			0.11					
21	0.01	0.42	0.50	0.02	0.0008	25.4	8.15	4.02	0.24	0.0130	0.29	0.001				0.05				
22	0.02	0.39	0.58	0.01	0.0007	25.3	8.18	3.95	0.28	0.0110	0.29	0.002					0.12			
23	0.02	0.38	0.53	0.01	0.0009	25.4	8.62	3.97	0.22	0.0180	0.3	0.002						0		
24	0.02	0.44	0.57	0.02	0.0008	25.5	8.34	3.90	0.26	0.0160	0.27	0.002							0.0005	
25	0.02	0.38	0.51	0.01	0.0009	25.5	8.74	3.78	0.44	0.0170	0.28	0.001	0.35	0						
26	0.02	0.39	0.49	0.02	0.0009	25.4	8.63	3.94	0.33	0.0180	0.29	0.001								
27	0.02	0.51	0.72	0.02	0.0005	25.6	7.71	4.06	0.41	0.0240	0.3	0.002			0.07			0		0.0022
28	0.02	0.56	0.77	0.02	0.0007	25.5	7.64	2.98	0.46	0.0200	0.32	0.002	1.30						0.0007	
29	0.01	0.53	0.69	0.02	0.0007	25.3	7.68	3.96	0.38	0.0160	0.29	0.002		0.02			0.22			
30	0.01	0.42	0.53	0.01	0.0008	25.4	8.15	3.61	0.35	0.0220	0.28	0.002	0.57		0.02					0.0009
31	0.02	0.68	0.92	0.02	0.0006	25.6	7.06	2.59	0.55	0.024	0.32	0.002	1.84						0.0009	

[0139] [アンダーカット判定試験]

溶接始末端から母材の周方向に180°離れた位置において、溶接金属の

延在方向と垂直な方向に母材鋼管を切断し、溶接金属を含む断面観察片を採取した。各試験番号の5つのサンプルを観察し、断面観察片における溶接止端部において、アンダーカットの有無、及び、アンダーカットの深さを評価した。5つのサンプルの全てにおいて、アンダーカットの深さが0.05mm未満であった場合は、E (Excellent) と評価した。アンダーカットが生じていても、アンダーカットの深さが0.05mm以上0.10mm未満の場合は、G (Good) と評価した。5つのサンプルのうち、1つでも深さ0.10mm以上のアンダーカットが生じていた場合は、B (Bad) と評価した。結果を表3の「アンダーカット」の欄に示す。

[0140] [評価結果]

表3を参照して、試験番号3、6～8、10、12、及び、14～30は、母材及び溶接金属中の各元素の含有量が適切であると共に、式(1) ($Si + 3Mn \leq 3.00$)、及び、式(2) ($0 < BH/BW < 0.15$)を満たした。そのため、試験番号3、6～8、10、12、及び、14～30では、アンダーカットの深さが0.10mm未満となった。したがって、試験番号3、6～8、10、12、及び、14～30では、アンダーカットが抑制された。

[0141] さらに、母材の厚さが2.5mm以下である試験番号3、6～8、15～17、19～20、及び、27～29を比較して、以下の結果が得られた。式(1)及び式(2)に加えて、式(3)及び式(4)を満たした試験番号3、6～8、16、17、19～20、及び、27～29では、アンダーカットの深さが0.05mm未満であった。したがって、試験番号3、6～8、16、17、19～20、及び、27～29では、試験番号15と比較して、アンダーカットがさらに抑制できた。

[0142] 一方、試験番号1及び2では、母材及び溶接金属中の各元素の含有量は適切であったものの、式(1)を満たさなかった。その結果、深さ0.10mm以上のアンダーカットが発生した。したがって、試験番号1及び2では、アンダーカットが抑制できなかった。

- [0143] 試験番号4及び5では、母材及び溶接金属中の各元素の含有量は適切であったものの、式(1)及び式(2)を満たさなかった。その結果、深さ0.10mm以上のアンダーカットが発生した。したがって、試験番号4及び5では、アンダーカットが抑制できなかった。
- [0144] 試験番号9、11、及び、13では、母材及び溶接金属中の各元素の含有量は適切であったものの、式(2)を満たさなかった。その結果、深さ0.10mm以上のアンダーカットが発生した。したがって、試験番号9、11、及び、13では、アンダーカットが抑制できなかった。
- [0145] 試験番号31では、母材中の各元素の含有量は適切であったものの、式(1)を満たさなかった。その結果、深さ0.10mm以上のアンダーカットが発生した。したがって、試験番号31では、アンダーカットが抑制できなかった。
- [0146] 以上、本開示の実施の形態を説明した。しかしながら、上述した実施の形態は本開示を実施するための例示に過ぎない。したがって、本開示は上述した実施の形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施の形態を適宜変更して実施することができる。

符号の説明

- [0147] 1 溶接継手
10 母材
20 溶接金属

請求の範囲

[請求項1] 二相ステンレス鋼溶接継手であって、
質量%で、
C : 0.001%~0.030%、
Si : 0.05%~0.80%、
Mn : 0.05%~1.20%、
P : 0.030%以下、
S : 0.0030%以下、
Cr : 21.00%~28.00%、
Ni : 4.00%~8.00%、
Mo : 2.00%~4.50%、
Cu : 0.01~4.00%、
Sol. Al : 0.0010~0.0500%、
N : 0.080%~0.400%、
B : 0.0001~0.0100%、
W : 0~4.00%、
Nb : 0~0.10%、
V : 0~0.20%、
Ta : 0~0.30%、
Co : 0~1.00%、
Sn : 0~0.020%、
Mg : 0~0.0200%、
Ca : 0~0.0100%、及び、
残部がFe及び不純物からなる母材と、
質量%で、
C : 0.001%~0.030%、
Si : 0.05%~0.70%、
Mn : 0.05%~0.85%、

P : 0.030%以下、
S : 0.0030%以下、
Cr : 21.00%~28.00%、
Ni : 5.00%~11.00%、
Mo : 2.00%~4.50%、
Cu : 0.01~4.00%、
Sol. Al : 0.0010~0.0500%、
N : 0.080%~0.400%、
B : 0.0001~0.0100%、
W : 0~4.00%、
Nb : 0~0.10%、
V : 0~0.20%、
Ta : 0~0.30%、
Co : 0~1.00%、
Sn : 0~0.020%、
Mg : 0~0.0200%、
Ca : 0~0.0100%、及び、

残部がFe及び不純物からなる溶接金属とを備え、

前記母材及び前記溶接金属中の各元素の含有量を満たすとともに、
式(1)及び式(2)を満たす、

二相ステンレス鋼溶接継手。

$$Si + 3Mn \leq 3.00 \quad (1)$$

$$0 < BH / BW < 0.15 \quad (2)$$

ここで、式(1)中の各元素記号には、前記溶接金属中の対応する
元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(2)中のBHは前記溶接金属のCap高さ(mm)、
BWは前記溶接金属のCap幅(mm)が代入される。

[請求項2]

請求項1に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、

前記母材の厚さが2.5 mm以下の場合にはさらに、式(3)及び式(4)を満たす、

二相ステンレス鋼溶接継手。

$$Si + 4Mn \leq 3.75 \quad (3)$$

$$0 < BH / BW \leq 0.5 / (6.0 - 0.85WT) \quad (4)$$

ここで、式(3)中の各元素記号には、前記溶接金属中の対応する元素の含有量が質量%で代入される。

ここで、式(4)中のBHには前記溶接金属のCap高さ(mm)、BWには前記溶接金属のCap幅(mm)、WTは前記母材の厚さ(mm)が代入される。

[請求項3] 請求項1又は請求項2に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、

前記母材が、

質量%で、

W : 0.01~4.00%、

Nb : 0.01~0.10%、

V : 0.01~0.20%、

Ta : 0.01~0.30%、

Co : 0.01~1.00%、

Sn : 0.001~0.020%、

Mg : 0.0001~0.0200%、及び、

Ca : 0.0001~0.0100%、

からなる群から選択される1元素以上を含有する、

二相ステンレス鋼溶接継手。

[請求項4] 請求項1~3のいずれか1項に記載の二相ステンレス鋼溶接継手であって、

前記溶接金属が、

質量%で、

W : 0.01 ~ 4.00%、
Nb : 0.01 ~ 0.10%、
V : 0.01 ~ 0.20%、
Ta : 0.01 ~ 0.30%、
Co : 0.01 ~ 1.00%、
Sn : 0.001 ~ 0.020%、
Mg : 0.0001 ~ 0.0200%、及び、
Ca : 0.0001 ~ 0.0100%、
からなる群から選択される1元素以上を含有する、
二相ステンレス鋼溶接継手。