

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6492811号

(P6492811)

(45) 発行日 平成31年4月3日 (2019.4.3)

(24) 登録日 平成31年3月15日 (2019.3.15)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 3 K 35/30 (2006.01)**C 2 2 C 38/00 (2006.01)****C 2 2 C 38/58 (2006.01)****C 2 2 C 38/44 (2006.01)****B 2 3 K 9/23 (2006.01)**

B 2 3 K 35/30 3 2 O B

C 2 2 C 38/00 3 O 2 H

C 2 2 C 38/58

C 2 2 C 38/00 3 O 2 Z

C 2 2 C 38/44

請求項の数 7 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-50768 (P2015-50768)
 (22) 出願日 平成27年3月13日 (2015.3.13)
 (65) 公開番号 特開2016-168616 (P2016-168616A)
 (43) 公開日 平成28年9月23日 (2016.9.23)
 審査請求日 平成29年11月6日 (2017.11.6)

(73) 特許権者 000006655
 新日鐵住金株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 110001553
 アセンド特許業務法人
 (72) 発明者 山田 健太
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日鐵住金株式会社内
 (72) 発明者 濱田 昌彦
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日鐵住金株式会社内
 (72) 発明者 平田 弘征
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日鐵住金株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶接材料並びにそれを用いて形成される溶接金属及び溶接継手

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

溶接材料であって、質量%で、

C : 0 . 0 2 % 以下、

S i : 0 . 2 5 ~ 1 . 0 0 %、

M n : 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 %、

P : 0 . 0 2 0 % 以下、

S : 0 . 0 1 0 % 以下、

C u : 2 . 0 0 % 以下、

C r : 2 0 . 0 ~ 3 0 . 0 %、

N i : 7 . 0 0 ~ 1 2 . 0 0 %、

N : 0 . 1 0 0 ~ 0 . 3 5 0 %、

A l : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 4 0 %、

V : 0 . 0 1 0 ~ 1 . 5 0 %、並びに、

M o : 3 . 2 7 ~ 4 . 0 0 %、及び、

W : 1 . 0 0 ~ 4 . 0 0 % からなる群から選択される1種以上を含有し、

残部は F e 及び不純物からなり、式 (1) を満たす化学組成を有する、溶接材料。

$$0 . 1 3 C + 0 . 0 5 S i - 0 . 0 2 M n + 0 . 1 P + 0 . 0 1 C u - 0 . 0 5 5 C r + 0 . 0 0 7 N i - 0 . 0 1 3 M o - 0 . 0 0 2 W - 0 . 1 2 V - 1 . 0 4 N - 1 . 1 1 6 \cdots (1)$$

10

20

ここで、各元素記号には、各元素の含有量（質量％）が代入される。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の溶接材料を用いて、ガスメタルアーク溶接により形成され、質量％で、

C : 0 . 0 3 % 以下、

Si : 0 . 2 5 ~ 1 . 0 0 %、

Mn : 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 %、

P : 0 . 0 2 0 % 以下、

S : 0 . 0 0 5 % 以下、

Cu : 2 . 0 0 % 以下、

10

Cr : 2 0 . 0 ~ 3 0 . 0 %、

Ni : 7 . 0 0 ~ 1 2 . 0 0 %、

N : 0 . 1 0 0 ~ 0 . 3 5 0 %、

Al : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 4 0 %、

V : 0 . 0 1 0 ~ 1 . 5 0 %、

O : 0 . 0 1 0 % ~ 0 . 0 3 0 %、並びに、

Mo : 1 . 0 0 ~ 4 . 0 0 %、及び、

W : 1 . 0 0 ~ 4 . 0 0 % からなる群から選択される 1 種以上を含有し、残部は Fe 及び不純物からなる、溶接金属。

【請求項 3】

20

請求項 2 に記載の溶接金属と、

ステンレス鋼の母材とを備える、溶接継手。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の溶接継手であって、

前記ステンレス鋼の母材は、質量％で、

C : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、

Si : 0 . 0 5 0 ~ 1 . 0 0 %、

Mn : 0 . 1 0 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 4 0 % 以下、

S : 0 . 0 1 0 % 以下、

30

Cu : 0 . 0 1 0 ~ 2 . 0 0 %、

Cr : 1 0 . 5 0 ~ 1 4 . 0 0 %、

Ni : 0 . 5 0 ~ 1 0 . 0 0 %、

N : 0 . 1 0 % 以下、

Al : 0 . 0 4 0 % 以下、並びに、

Mo : 0 . 1 0 ~ 4 . 0 0 %、及び、

W : 0 . 2 0 ~ 6 . 0 0 % からなる群から選択される 1 種以上を含有し、残部は Fe 及び不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼である、溶接継手。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の溶接継手であって、

40

前記ステンレス鋼の母材は、質量％で、

C : 0 . 0 3 % 以下、

Si : 0 . 2 0 ~ 1 . 0 0 %、

Mn : 8 . 0 0 % 以下、

P : 0 . 0 4 0 % 以下、

S : 0 . 0 1 0 % 以下、

Cu : 0 . 2 0 ~ 4 . 0 0 %、

Cr : 2 0 . 0 0 ~ 3 0 . 0 0 %、

Ni : 4 . 0 0 ~ 8 . 0 0 %、

N : 0 . 1 0 0 ~ 0 . 3 5 0 %、

50

A l : 0 . 0 4 0 % 以下、並びに、
M o : 0 . 5 0 ~ 4 . 0 0 %、及び、
W : 0 . 0 1 ~ 4 . 0 0 % からなる群から選択される 1 種以上を含有し、残部は F e 及び不純物からなる二相ステンレス鋼である、溶接継手。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の溶接継手であって、
前記二相ステンレス鋼の母材はさらに、
前記 F e の一部に代えて、質量 % で、
C a : 0 . 0 2 0 % 以下、
M g : 0 . 0 2 0 % 以下、及び、
B : 0 . 0 2 0 % 以下からなる群から選択される 1 種以上を含有する、溶接継手。

10

【請求項 7】

請求項 5 又は請求項 6 に記載の溶接継手であって、
前記二相ステンレス鋼の母材はさらに、
前記 F e の一部に代えて、質量 % で、
希土類元素 : 0 . 2 0 % 以下を含有する、溶接継手。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、溶接材料並びにそれを用いて形成される溶接金属及び溶接継手に関し、さらに詳しくは、ステンレス鋼溶接材料並びにそれを用いて形成される溶接金属及び溶接継手に関する。

20

【背景技術】

【0002】

ラインパイプ及び油井管等に用いられる鋼管には、高い強度及び高い靱性が求められる。高い強度及び高い靱性をもつ材料として、高窒素二相ステンレス鋼及びマルテンサイト系ステンレス鋼等が利用される。これらの高強度ステンレス鋼を母材として溶接継手を製造する場合、溶接金属にも高い強度と高い靱性が求められる。高い強度を有する溶接材料がたとえば、特開 2014 - 39953 号公報（特許文献 1）及び国際公開 WO 2012 / 111535 号公報（特許文献 2）に開示されている。

30

【0003】

鋼材の溶接には、ガスシールドアーク溶接法が用いられる。ガスシールドアーク溶接法は、非消耗電極式と消耗電極式とに大別される。オーステナイト鋼の溶接には、通常、非消耗電極式の溶接法である、ガスタングステンアーク（Gas Tungsten Arc、略して G T A）溶接法が用いられる。G T A 溶接法は、タングステンを電極とし、母材を溶融して溶接する方法である。G T A 溶接法は、良質な溶接金属を形成し易いものの、溶接速度が遅い。

【0004】

一方で、ガスシールドアーク法には、消耗電極式の溶接法である、ガスメタルアーク（Gas Metal Arc、略して G M A）溶接法がある。G M A 溶接法は、溶接ワイヤを電極とし、溶融したワイヤと溶融した母材とで溶接金属を形成させることにより溶接する方法である。G M A 溶接法は、径の細いワイヤを電極とするため、溶接速度が速い。そのため、G T A 溶接法に代えて、G M A 溶接法を用いることが好ましい。

40

【0005】

しかしながら、G M A 溶接法は、G T A 溶接法に比べて溶接金属の凝固速度が速いため、溶融金属中に発生したガスが残留したまま、溶接金属が凝固し易い。したがって、ブローホールが発生し易くなる。

【0006】

G M A 溶接の溶接材料として、二相ステンレス鋼が利用される。二相ステンレス鋼は、高い強度と高い靱性とを備えるため、上述の高強度ステンレス鋼を母材とした溶接継手の

50

製造に適している。しかしながら、二相ステンレス鋼には、強度向上のために窒素が多量に含まれている。この場合、溶融金属中に窒素ガスが多量に発生し、ブローホールを発生し易い。このため、ブローホールの発生が抑制できる溶接材料及び溶接継手が求められている。

【0007】

ブローホールを抑制する、GMA溶接法による溶接継手の製造方法が、特開2014-607号公報（特許文献3）に開示されている。特許文献3に記載の製造方法は、質量%で10.5%以上のCrを含有する母材を準備する工程と、母材に対して、1~2体積%又は35~50体積%のCO₂を含有し、残部が不活性ガスからなるシールドガスを用いてGMA溶接を実施し、質量%で、C:0.080%以下、Si:0.20~1.00%、Mn:8.00%以下、P:0.040%以下、S:0.0100%以下、Cu:2.0%以下、Cr:20.0~30.0%、Ni:7.00~12.00%、N:0.100~0.350%、O:0.02~0.14%、Al:0.040%以下、並びに、Mo:1.00~4.00%及びW:1.00~4.00%のうちの1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなる溶接金属を形成する工程とを備える。これにより、高強度及び高靱性を有し、ブローホールの少ない溶接金属を備えた溶接継手が製造できる、と特許文献3には記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

20

【特許文献1】特開2014-39953号公報

【特許文献2】国際公開WO2012/111535号公報

【特許文献3】特開2014-607号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述の特許文献3に開示された製造方法によっても、ブローホールが発生する場合がある。

【0010】

本発明の目的は、高強度及び高靱性を有し、ブローホールの少ない溶接継手を製造できる溶接材料、並びに、それを用いてなる溶接金属及び溶接継手を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本実施形態による溶接材料は、質量%で、C:0.02%以下、Si:0.25~1.00%、Mn:0.30~3.00%、P:0.020%以下、S:0.01%以下、Cu:2.00%以下、Cr:20.0~30.0%、Ni:7.00~12.00%、N:0.100~0.350%、Al:0.001~0.040%、V:0.010~1.50%、並びに、Mo:1.00~4.00%、及び、W:1.00~4.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなり、式(1)を満たす化学組成を有する。

40

$$0.13C + 0.05Si - 0.02Mn + 0.1P + 0.01Cu - 0.0555Cr + 0.007Ni - 0.013Mo - 0.002W - 0.12V - 1.04N - 1.116 \cdots (1)$$

ここで、各元素記号には、各元素の含有量（質量%）が代入される。

【0012】

本実施形態による溶接金属は、上記溶接材料を用いて、ガスメタルアーク溶接により形成される。本実施形態による溶接金属は、質量%で、C:0.03%以下、Si:0.25~1.00%、Mn:0.30~3.00%、P:0.020%以下、S:0.005%以下、Cu:2.00%以下、Cr:20.0~30.0%、Ni:7.00~12.00%、N:0.100~0.350%、Al:0.005~0.040%、V:0.0

50

10 ~ 1.50%、O : 0.010% ~ 0.030%、並びに、Mo : 1.00 ~ 4.00%、及び、W : 1.00 ~ 4.00% からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなる。

【0013】

本実施形態による溶接継手は、上記溶接金属と、ステンレス鋼の母材とを備える。

【発明の効果】

【0014】

本実施形態による溶接材料を用いて溶接継手を製造することで、高強度及び高靱性を有し、ブローホールが少ない溶接金属及び溶接継手を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0015】

【図1】図1は、ブローホールの確認方法を示すための、溶接継手の斜視図である。

【図2】図2は、シャルピー衝撃試験の試験片の採取位置を示す図である。

【図3】図3は、引張試験に用いた試験片の模式図である。

【図4】図4は、溶接材料のN含有量、F1に定義されるNの溶解度及びブローホールの発生有無の関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

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。

20

【0017】

本発明者らは、溶接材料に対して種々検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

【0018】

(A) 溶接の際、温度低下に伴う溶融金属中での溶解度の減少、及び、固相の晶出による急激な溶解度の減少によってガスが発生する。発生したガスによる気泡が溶接終了後まで残留した場合、ブローホールと呼ばれる欠陥が生じる。

【0019】

(B) 溶接継手に要求される、高い強度と高い靱性を得るために、溶接材料として高強度ステンレス鋼が利用される。高窒素二相ステンレス鋼に代表される高強度ステンレス鋼には、強度向上のために窒素が多量に含まれている。この場合、溶融金属中に窒素ガスが多量に発生し、ブローホールを発生し易い。

30

【0020】

(C) 溶接の際、溶融金属に溶解できない窒素が上述のとおり窒素ガスとなることがある。したがって、溶融金属に対する窒素の溶解度を上げることによって、窒素ガスの発生が抑制できる。溶融金属に溶解した窒素は、溶接金属が凝固する際、溶接金属中に固溶する。この場合、溶融金属中の窒素は、ガスとなることなく溶接金属中に固溶する。そのため、ブローホールの発生が抑制できる。

【0021】

(D) 溶融金属中に、マンガン(Mn)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)及びタングステン(W)が含まれる場合、これらの元素は、溶融金属に対する窒素の溶解度を上げる。一方、溶融金属中に、炭素(C)、シリコン(Si)、リン(P)、銅(Cu)及びニッケル(Ni)が含まれる場合、これらの元素は、溶融金属に対する窒素の溶解度を下げる。

40

【0022】

(E) 溶融金属中に、バナジウム(V)が含まれる場合、Vは窒化物を形成する。そのため、窒素ガスの発生を抑制する。

【0023】

(F) 溶融金属中の上記元素の含有量が適切な場合、ブローホールの発生が抑制され、高強度及び高靱性の溶接金属が得られる。

【0024】

50

以上の知見に基づいて完成した、本実施形態による溶接材料は、質量%で、C：0.02%以下、Si：0.25～1.00%、Mn：0.30～3.00%、P：0.020%以下、S：0.010%以下、Cu：2.00%以下、Cr：20.0～30.0%、Ni：7.00～12.00%、N：0.100～0.350%、Al：0.001～0.040%、V：0.010～1.50%、並びに、Mo：1.00～4.00%、及び、W：1.00～4.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなり、式(1)を満たす化学組成を有する。

$$0.13C + 0.05Si - 0.02Mn + 0.1P + 0.01Cu - 0.055Cr + 0.007Ni - 0.013Mo - 0.002W - 0.12V - 1.04N - 1.116 \cdots (1)$$

10

ここで、各元素記号には、各元素の含有量(質量%)が代入される。

【0025】

上記化学組成を有する溶接材料を用いて溶接継手を製造することで、高強度及び高靱性を有し、ブローホールが少ない溶接金属及び溶接継手を得ることができる。

【0026】

本実施形態による溶接金属は、上記溶接材料を用いて、ガスメタルアーク溶接により形成される。本実施形態による溶接金属は、質量%で、C：0.03%以下、Si：0.25～1.00%、Mn：0.30～3.00%、P：0.020%以下、S：0.005%以下、Cu：2.00%以下、Cr：20.0～30.0%、Ni：7.00～12.00%、N：0.100～0.350%、Al：0.005～0.040%、V：0.010～1.50%、O：0.010%～0.030%、並びに、Mo：1.00～4.00%、及び、W：1.00～4.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなる。

20

【0027】

本実施形態による溶接継手は、上記溶接金属と、ステンレス鋼の母材とを備える。

【0028】

上記溶接継手のステンレス鋼の母材は、質量%で、C：0.001～0.100%、Si：0.050～1.00%、Mn：0.10～1.50%、P：0.040%以下、S：0.010%以下、Cu：0.010～2.00%、Cr：10.50～14.00%、Ni：0.50～10.00%、N：0.10%以下、Al：0.040%以下、並びに、Mo：0.10～4.00%、及び、W：0.20～6.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼であることが好ましい。

30

【0029】

上記溶接継手のステンレス鋼の母材は、質量%で、C：0.03%以下、Si：0.20～1.00%、Mn：8.00%以下、P：0.040%以下、S：0.010%以下、Cu：0.20～4.00%、Cr：20.00～30.00%、Ni：4.00～8.00%、N：0.100～0.350%、Al：0.040%以下、並びに、Mo：0.50～4.00%、及び、W：0.01～4.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はFe及び不純物からなる二相ステンレス鋼であることが好ましい。

40

【0030】

上記溶接継手の二相ステンレス鋼の母材はさらに、上記Feの一部に代えて、質量%で、Ca：0.020%以下、Mg：0.020%以下、及び、B：0.020%以下からなる群から選択される1種以上、又は、希土類元素：0.20%以下を含有してもよい。

【0031】

以下、本実施形態による溶接材料、溶接金属及び溶接継手を得るための好ましい条件について説明する。化学組成について「%」とは、質量%を意味する。

【0032】

[溶接継手]

本実施形態による溶接継手は、母材と、溶接金属とを備える。溶接継手はたとえば、鋼

50

管同士又は鋼板同士を互いの端部で溶接したものである。鋼管は継目無鋼管であってもよいし、溶接鋼管であってもよい。溶接金属は、溶接中に、母材の一部と溶接材料とが G M A 溶接により溶融し、凝固することで形成される。

【 0 0 3 3 】

[溶接材料の化学組成]

本実施形態による溶接材料は、以下の化学組成を有する。

【 0 0 3 4 】

C : 0 . 0 2 % 以下

炭素 (C) は溶接金属中のオーステナイト相を安定化させる。C はさらに、固溶強化により溶接金属の強度を高める。しかしながら、C 含有量が高すぎる場合、溶接金属の硬さが高くなり過ぎて靱性が低下する。C はさらに、溶融金属に対する窒素 (N) の溶解度を下げる。したがって、C 含有量は 0 . 0 2 % 以下である。C 含有量の好ましい上限は 0 . 0 1 5 % である。下限は特に設けないが、オーステナイト相を安定化させる場合、C 含有量の好ましい下限は 0 . 0 1 % である。

10

【 0 0 3 5 】

S i : 0 . 2 5 ~ 1 . 0 0 %

珪素 (S i) は溶接時に溶接金属を脱酸する。S i はさらに、溶接金属の強度を高める。しかしながら、S i は、溶融金属に対する N の溶解度を下げる。さらに、S i 含有量が高すぎる場合、溶接金属の靱性が低下する。したがって、S i 含有量は 0 . 2 5 ~ 1 . 0 0 % である。S i 含有量の好ましい上限は 0 . 5 0 % である。

20

【 0 0 3 6 】

M n : 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 %

マンガン (M n) は溶接時に溶接金属を脱硫及び脱酸する。M n はさらに、溶接金属の強度を高める。M n はさらに、溶融金属に対する N の溶解度を上げる。そのため、ブローホールの発生を抑制する。しかしながら、M n 含有量が高すぎる場合、溶接金属の耐食性が低下する。したがって、M n 含有量は 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 % である。M n 含有量の好ましい上限は 2 . 0 0 % である。M n 含有量の好ましい下限は 0 . 5 0 % である。

【 0 0 3 7 】

P : 0 . 0 2 0 % 以下

磷 (P) は不純物である。P は、溶融金属に対する N の溶解度を下げる。P はさらに、粒界に偏析し溶接金属の靱性を低下させる。P 含有量を低減することで、P をフェライト相中に固溶させることができ、靱性の低下を抑制できる。溶接効率を改善するため大入熱溶接による溶接を行う場合、溶接部の熱影響部 (H A Z) が脆化しやすい。この場合でも、P 含有量を低減することで、優れた靱性を得ることができる。したがって、P 含有量は少ない方が好ましい。P 含有量の上限は 0 . 0 2 0 % であり、好ましくは 0 . 0 1 0 % である。

30

【 0 0 3 8 】

S : 0 . 0 1 0 % 以下

硫黄 (S) は不純物である。S は、溶接金属の延性と耐食性を低下させ、さらに、高温における溶接金属の割れ感受性を高める。したがって、S 含有量は少ない方が好ましい。S 含有量の上限は 0 . 0 1 0 % であり、好ましくは 0 . 0 0 2 % である。

40

【 0 0 3 9 】

C u : 2 . 0 0 % 以下

銅 (C u) は必須元素である。C u は溶接金属の不動態被膜を強化し、耐 S C C 性を含む耐食性を高める。しかしながら、C u は、溶融金属に対する N の溶解度を下げる。さらに、C u 含有量が高すぎる場合、溶接金属の靱性が低下する。したがって、C u 含有量は 2 . 0 0 % 以下である。C u 含有量の好ましい上限は 0 . 6 0 % である。

【 0 0 4 0 】

C r : 2 0 . 0 ~ 3 0 . 0 %

クロム (C r) は溶接金属の耐食性及び強度を高める。C r はさらに、溶融金属に対す

50

るNの溶解度を上げる。しかしながら、Cr含有量が高すぎる場合、溶接金属の耐食性が低下する。したがって、Cr含有量は20.0～30.0%である。Cr含有量の好ましい上限は27.0%である。Cr含有量の好ましい下限は22.0%である。

【0041】

Ni: 7.00～12.00%

ニッケル(Ni)は溶接金属中のオーステナイト相を安定化し、フェライト量を低下させる。Niはさらに、溶接金属の靱性を高める。Ni含有量が7.00%以上である場合、溶接金属中のフェライト量が適切になる。この場合、溶接金属は、二相ステンレス鋼としての特徴を有する。さらに、フェライト中へのNの固溶度は小さい。そのため、フェライト量を低下させることによってブローホールが抑制できる。しかしながら、Niは溶融金属に対するNの溶解度を下げる。さらに、Ni含有量が高すぎる場合、溶接金属中のフェライト量が過剰に低下する。この場合、二相ステンレス鋼の機械特性が得られなくなる。Ni含有量が高すぎる場合、さらに、溶接金属の強度が低下する。したがって、Ni含有量は7.00～12.00%である。Ni含有量の好ましい上限は10.00%である。Ni含有量の好ましい下限は8.40%である。

【0042】

N: 0.100～0.350%

窒素(N)は強力なオーステナイト形成元素であり、溶接金属の熱的安定性及び耐食性を高める。Nはさらに、固溶強化により溶接金属の強度を高める。フェライト相とオーステナイト相との比率を適切なものに維持するために、フェライト生成元素であるCr及びMoの含有量を考慮してNの含有量を定めることが好ましい。しかしながら、N含有量が高すぎる場合、ブローホールが発生しやすくなる。N含有量が高すぎる場合さらに、溶接時に発生する熱により、窒化物が過剰に生成する。過剰に生成した窒化物は、溶接金属の靱性及び耐食性を低下させる。したがって、N含有量は0.100～0.350%である。

【0043】

Al: 0.001～0.040%

アルミニウム(Al)は溶接時に溶接金属を脱酸する。Alはさらに、ブローホールの原因となるNと窒化物を生成する。そのため、ブローホールを抑制する。しかしながら、Al含有量が高すぎる場合、窒化アルミニウムが過剰に析出する。過剰に析出した窒化アルミニウムは、脆化層を析出させ、溶接金属の延性及び靱性を低下させる。したがって、Al含有量は0.001～0.040%である。Al含有量の好ましい上限は0.030%であり、より好ましくは0.020%である。

【0044】

V: 0.010～1.50%

バナジウム(V)は溶接金属の耐食性を向上させる。Vはさらに、Nと窒化物を生成することでブローホールを抑制し、後述の式(1)に寄与する。しかしながら、V含有量が高すぎる場合、窒化物が過剰に析出し、溶接金属の延性及び靱性が低下する。したがって、V含有量は0.010～1.50%である。V含有量の好ましい上限は0.10%である。V含有量の好ましい下限は0.020%であり、より好ましくは0.030%である。

【0045】

Mo: 1.00～4.00%、及び、

W: 1.00～4.00%から選ばれる1種以上

モリブデン(Mo)及びタングステン(W)は溶接金属の耐食性及び強度を高める。Mo及びWはさらに、溶融金属に対するNの溶解度を上げる。しかしながら、Mo含有量が高すぎる場合、溶接金属の靱性が低下する。W含有量が高すぎる場合、W添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、Mo含有量は1.00～4.00%であり、W含有量は1.00～4.00%である。Mo及びWから選ばれる1種を含有していればよく、2種含有してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

本実施形態による溶接材料の残部はF e及び不純物からなる。ここで、不純物とは、鋼材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、本実施形態による溶接材料に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。不純物とはたとえば、酸素(O)である。

【 0 0 4 7 】

[窒素の溶解度を示す式(1)]

上記化学組成はさらに、下記式(1)を満たす。

$$0.13C + 0.05Si - 0.02Mn + 0.1P + 0.01Cu - 0.0555Cr + 0.007Ni - 0.013Mo - 0.002W - 0.12V - 1.04N - 1.116 \cdots (1) \quad 10$$

ここで、各元素記号には、各元素の含有量(質量%)が代入される。

【 0 0 4 8 】

式(1)の左辺をF1と定義する。式(1)の右辺をF2と定義する。F1は、熔融金属に対するNの溶解度を示す。F1が小さい程、熔融金属に対するNの溶解度が大きいことを意味する。熔融金属に対するNの溶解度が大きいと、溶接時に窒素ガスが発生しにくい。熔融金属中に溶解したNは、溶接金属の凝固時に溶接金属に固溶する。そのため、ブローホールが抑制される。上述のとおり、熔融金属中に、Mn、Cr、Mo及びWが含まれる場合、これらの元素は、熔融金属に対する窒素の溶解度を上げる。一方、熔融金属中に、C、Si、P、Cu及びNiが含まれる場合、これらの元素は、熔融金属に対する窒素の溶解度を下げる。バナジウム(V)は窒化物の生成により窒素ガスの発生を抑制する。したがって、F1が小さい程、ブローホールが抑制される。 20

【 0 0 4 9 】

F2は、ブローホールを抑制できるNの溶解度の下限を示す。F2で示されるNの溶解度の下限よりも、F1で示される熔融金属に対するNの溶解度の方が大きい場合、溶接時の窒素ガスの発生が抑制される。そのため、ブローホールが抑制される。すなわち、F2よりもF1の方が小さい場合にブローホールが抑制される。

【 0 0 5 0 】

[溶接金属の化学組成]

本実施形態の溶接金属は、上述の溶接材料を用いてGMA溶接により形成される。溶接金属は、質量%で、C:0.03%以下、Si:0.25~1.00%、Mn:0.30~3.00%、P:0.020%以下、S:0.005%以下、Cu:2.00%以下、Cr:20.0~30.0%、Ni:7.00~12.00%、N:0.100~0.350%、Al:0.005~0.040%、V:0.010~1.50%、O:0.010%~0.030%、並びに、Mo:1.00~4.00%、及び、W:1.00~4.00%からなる群から選択される1種以上を含有し、残部はF e及び不純物からなる。 30

【 0 0 5 1 】

溶接金属中の各元素のうち、溶接材料と重複する元素の作用効果は、溶接材料の場合と同じである。溶接金属中の各元素のうち、数値範囲が溶接材料の対応する元素と同じである場合、好ましい上限、好ましい下限も溶接材料の対応する元素と同じである。たとえば、溶接金属中のSiの数値範囲(0.25~1.00%)は、溶接材料中のSiの数値範囲(0.25~1.00%)と同じである。したがって、溶接金属中のSi含有量の好ましい上限は、溶接材料中のSi含有量の好ましい上限と同じ0.80%である。同様に、溶接金属中のSi含有量の好ましい下限は、溶接材料中のSi含有量の好ましい下限と同じ0.10%である。 40

【 0 0 5 2 】

溶接金属中のC含有量(0.03%以下)、S含有量(0.005%以下)及びAl含有量(0.005~0.040%)の数値範囲は、溶接材料中のC含有量(0.02%以下)、S含有量(0.010%以下)及びAl含有量(0.001~0.040%)の数値範囲と異なるものの、溶接金属中におけるこれらの元素の作用効果は溶接材料と同じで 50

ある。溶接金属中のC含有量の好ましい上限は0.020%であり、好ましい下限は0.01%である。溶接金属中のAl含有量の好ましい上限は0.02%である。

【0053】

溶接金属はさらに、上述のとおり、酸素(O)を含有する。

O: 0.010 ~ 0.030%

酸素(O)は不純物である。Oは、酸化系介在物を形成し、溶接金属の靱性を低下する。したがって、O含有量は少ない方が好ましい。しかしながら、本実施形態による溶接継手の製造時に用いられるGMA溶接では、アークを安定化させるため、シールドガス中に酸素成分が含有される。そのため、シールドガス中の酸素成分が溶接の際に溶接金属に取り込まれる。したがって、溶接金属には0.010%以上のOが含有される。シールドガスの成分を調節することによって、溶接金属のO含有量を0.030%以下にすることができる。したがって、O含有量は0.010 ~ 0.030%である。O含有量の好ましい上限は0.020%である。

10

【0054】

本実施形態の溶接金属は、上述の溶接材料により製造される。したがって、溶接金属中のブローホールの発生は抑制される。

【0055】

[溶接継手の母材]

本実施形態による溶接継手を形成するための母材は、Cr含有量が10.5%以上のステンレス鋼が好ましい。好ましくは、マルテンサイト系ステンレス鋼又は二相ステンレス鋼である。これにより、優れた耐食性を得ることができる。

20

【0056】

[マルテンサイト系ステンレス鋼の化学組成]

母材がマルテンサイト系ステンレス鋼である場合、好ましくは、母材は次の化学組成を有する。

【0057】

C: 0.001 ~ 0.100%

炭素(C)は鋼の強度を高める。しかしながら、C含有量が高すぎる場合、鋼の靱性及び耐応力腐食割れ性が低下する。したがって、C含有量は0.001 ~ 0.100%である。C含有量の好ましい上限は0.07%であり、より好ましくは0.05%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%である。

30

【0058】

Si: 0.050 ~ 1.00%

珪素(Si)は鋼を脱酸する。しかしながら、Si含有量が高すぎる場合、鋼の靱性が低下する。したがって、Si含有量は0.050 ~ 1.00%である。Si含有量の好ましい上限は0.80%であり、より好ましくは0.60%である。Si含有量の好ましい下限は0.10%であり、より好ましくは0.15%である。

【0059】

Mn: 0.10 ~ 1.50%

マンガン(Mn)は鋼を脱酸する。Mnはさらに、鋼の靱性を高める。しかしながら、Mn含有量が高すぎる場合、耐食性が低下する。したがって、Mn含有量は0.10 ~ 1.50%である。Mn含有量の好ましい上限は1.40%であり、より好ましくは1.30%である。Mn含有量の好ましい下限は0.13%であり、より好ましくは0.15%である。

40

【0060】

P: 0.040%以下

燐(P)は不純物である。Pは鋼の熱間加工性を低下させる。Pはさらに、溶接時の高温による、割れ感受性を高める。したがって、P含有量は少ない方が好ましい。P含有量は0.040%以下である。P含有量の好ましい上限は0.030%であり、より好ましくは0.025%である。

50

【 0 0 6 1 】

S : 0 . 0 1 % 以下

硫黄 (S) は不純物である。S は鋼の熱間加工性を低下させる。S はさらに、硫化物を形成して、溶接時の高温による、割れ感受性を高める。したがって、S 含有量は少ない方が好ましい。S 含有量は 0 . 0 1 % 以下である。S 含有量の好ましい上限は 0 . 0 0 5 0 % であり、より好ましくは 0 . 0 0 2 0 % である。

【 0 0 6 2 】

C u : 0 . 0 1 0 ~ 2 . 0 0 %

銅 (C u) は鋼の不動態被膜を強化することで、鋼の耐食性を高める。しかしながら C u 含有量が高すぎる場合、C u 添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、C u 含有量は 0 . 0 1 0 ~ 2 . 0 0 % である。C u 含有量の好ましい上限は、1 . 9 5 % であり、より好ましくは 1 . 9 0 % である。C u 含有量の好ましい下限は、0 . 0 1 3 % であり、より好ましくは 0 . 0 1 5 % である。

【 0 0 6 3 】

C r : 1 0 . 5 ~ 1 4 . 0 0 %

クロム (C r) は鋼の不動態被膜を強化することで、鋼の耐食性を高める。しかしながら、C r 含有量が高すぎる場合、溶接性が低下し、溶接割れが発生しやすくなる。したがって、C r 含有量は 1 0 . 5 ~ 1 4 . 0 0 % である。C r 含有量の好ましい上限は 1 3 . 8 0 % であり、より好ましくは 1 3 . 5 0 % である。C r 含有量の好ましい下限は 1 1 . 0 0 % であり、より好ましくは 1 1 . 5 0 % である。

【 0 0 6 4 】

N i : 0 . 5 0 ~ 1 0 . 0 0 %

ニッケル (N i) は、鋼の耐食性を向上する。しかしながら、N i 含有量が高すぎる場合、N i 添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、N i 含有量は 0 . 5 0 ~ 1 0 . 0 0 % である。N i 含有量の好ましい上限は 9 . 5 0 % であり、より好ましくは 9 . 0 0 % である。N i 含有量の好ましい下限は 1 . 0 0 % であり、より好ましくは 2 . 0 0 % である。

【 0 0 6 5 】

N : 0 . 1 % 以下

母材がマルテンサイト系ステンレス鋼である場合、窒素 (N) は不純物である。N は鋼の靱性を低下し、さらに、ブローホールの原因となる。したがって、N 含有量は低い方が好ましい。N 含有量は 0 . 1 % 以下である。

【 0 0 6 6 】

A l : 0 . 0 4 0 % 以下

アルミニウム (A l) は、鋼を脱酸する。しかしながら、A l 含有量が高すぎる場合、窒化アルミニウムが過剰に生成する。そのため、鋼の靱性及び耐食性が低下する。したがって、A l 含有量は 0 . 0 4 0 % 以下である。A l 含有量の好ましい上限は 0 . 0 3 5 % であり、より好ましくは 0 . 0 3 0 % である。A l 含有量の好ましい下限は 0 . 0 0 3 % であり、より好ましくは 0 . 0 0 5 % である。

【 0 0 6 7 】

M o : 0 . 1 0 ~ 4 . 0 0 %、及び、

W : 0 . 2 0 ~ 6 . 0 0 % から選ばれる 1 種以上

モリブデン (M o) 及びタングステン (W) は溶接金属の耐食性及び耐応力腐食割れ性を高める。しかしながら、M o 含有量が高すぎる場合、溶接金属の靱性が低下する。W 含有量が高すぎる場合、W 添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、M o 含有量は 0 . 1 0 ~ 4 . 0 0 % であり、W 含有量は 0 . 2 0 ~ 6 . 0 0 % である。M o 及び W から選ばれる 1 種を含有していればよく、2 種含有してもよい。

【 0 0 6 8 】

本実施形態によるマルテンサイト系ステンレス鋼の残部は F e 及び不純物からなる。ここで、不純物とは、鋼材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

10

20

30

40

50

製造環境などから混入されるものであって、本実施形態によるマルテンサイト系ステンレス鋼に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

【 0 0 6 9 】

〔 二相ステンレス鋼の化学組成 〕

母材が二相ステンレス鋼である場合、好ましくは、母材は次の化学組成を有する。

【 0 0 7 0 】

C : 0 . 0 3 % 以下

炭素 (C) はオーステナイト相を安定化する。しかしながら、C含有量が高すぎる場合、炭化物が過剰に析出し、耐食性が低下する。したがって、C含有量は0 . 0 3 % 以下である。C含有量の好ましい上限は0 . 0 2 5 % であり、より好ましくは0 . 0 2 0 % である。

10

【 0 0 7 1 】

Si : 0 . 2 0 ~ 1 . 0 0 %

珪素 (Si) は溶接時の熔融金属の流動性を維持し、溶接欠陥を低減する。しかしながら、Si含有量が高すぎる場合、金属間化合物が生成され、熱間加工性が低下する。したがって、Si含有量は0 . 2 0 ~ 1 . 0 0 % である。Si含有量の好ましい上限は0 . 8 0 % であり、より好ましくは0 . 6 0 % である。Si含有量の好ましい下限は0 . 2 5 % であり、より好ましくは0 . 3 0 % である。

【 0 0 7 2 】

Mn : 8 . 0 0 % 以下

マンガン (Mn) は鋼を脱酸する。Mnはさらに、硫化物を形成して鋼を脱硫し、鋼の熱間加工性を高める。しかしながら、Mn含有量が高すぎる場合、耐食性が低下する。したがって、Mn含有量は8 . 0 0 % 以下である。Mn含有量の好ましい上限は7 . 5 0 % であり、より好ましくは5 . 0 0 % である。Mn含有量の好ましい下限は0 . 0 3 % であり、より好ましくは0 . 0 5 % である。

20

【 0 0 7 3 】

P : 0 . 0 4 0 % 以下

磷 (P) は不純物である。Pは鋼の耐食性及び靱性を低下させる。Pはさらに、溶接時の高温による、割れ感受性を高める。したがって、P含有量は少ない方が好ましい。P含有量は0 . 0 4 0 % 以下である。P含有量の好ましい上限は0 . 0 3 0 % であり、より好ましくは0 . 0 2 5 % である。

30

【 0 0 7 4 】

S : 0 . 0 1 0 % 以下

硫黄 (S) は不純物である。Sは鋼の熱間加工性を低下させる。Sはさらに、硫化物を形成して、溶接時の高温による、割れ感受性を高める。したがって、S含有量は少ない方が好ましい。S含有量は0 . 0 1 0 % 以下である。S含有量の好ましい上限は0 . 0 0 5 0 % であり、より好ましくは0 . 0 0 2 0 % である。

【 0 0 7 5 】

Cu : 0 . 2 0 ~ 4 . 0 0 %

銅 (Cu) は鋼の不動態被膜を強化することで、鋼の耐食性を高める。しかしながらCu含有量が高すぎる場合、鋼の熱間加工性が低下する。したがって、Cu含有量は0 . 2 0 ~ 4 . 0 0 % である。Cu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 % である。Cu含有量の好ましい下限は、0 . 2 3 % であり、より好ましくは0 . 2 5 % である。

40

【 0 0 7 6 】

Cr : 2 0 . 0 0 ~ 3 0 . 0 0 %

クロム (Cr) は鋼の耐食性を高める。しかしながら、Cr含有量が高すぎる場合、金属間化合物が生成され、熱間加工性が低下する。したがって、Cr含有量は2 0 . 0 0 ~ 3 0 . 0 0 % である。Cr含有量の好ましい上限は2 9 . 0 0 % であり、より好ましくは2 8 . 0 0 % である。Cr含有量の好ましい下限は2 1 . 0 0 % であり、より好ましくは

50

22.00%である。

【0077】

Ni: 4.00 ~ 8.00%

ニッケル(Ni)はオーステナイト相を安定化する。Niはさらに、鋼の靱性及び耐食性を高める。しかしながら、Ni含有量が高すぎる場合、Ni添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、Ni含有量は4.00 ~ 8.00%である。Ni含有量の好ましい上限は7.80%であり、より好ましくは7.50%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%である。

【0078】

N: 0.100 ~ 0.350%

10

窒素(N)は強力なオーステナイト形成元素であり、鋼の熱的安定性及び耐食性を高める。Nはさらに、固溶強化により鋼の強度を高める。フェライト相とオーステナイト相との比率を適切なものに維持するために、フェライト生成元素であるCr及びMoの含有量を考慮してNの含有量を決めることが好ましい。しかしながら、N含有量が高すぎる場合、ブローホールが発生しやすくなる。したがって、N含有量は0.100 ~ 0.350%である。N含有量の好ましい上限は0.330%であり、より好ましくは0.320%である。

【0079】

Al: 0.040%以下

アルミニウム(Al)は、鋼を脱酸する。しかしながら、Al含有量が高すぎる場合、窒化アルミニウムが過剰に生成する。そのため、鋼の靱性及び耐食性が低下する。したがって、Al含有量は0.040%以下である。Al含有量の好ましい上限は0.035%であり、より好ましくは0.030%である。Al含有量の好ましい下限は0.003%であり、より好ましくは0.005%である。

20

【0080】

Mo: 0.50 ~ 4.00%、及び、

W: 0.01 ~ 4.00%から選ばれる1種以上

モリブデン(Mo)及びタングステン(W)は鋼の耐食性及び対応力腐食割れ性を高める。しかしながら、Mo含有量が高すぎる場合、鋼の熱間加工性が低下する。W含有量が高すぎる場合、W添加による効果は飽和し、不要なコスト上昇を招く。したがって、Mo含有量は0.50 ~ 4.00%であり、W含有量は0.01 ~ 4.00%である。Mo及びWから選ばれる1種を含有していればよく、2種含有してもよい。

30

【0081】

本実施形態による二相ステンレス鋼の残部はFe及び不純物からなる。ここで、不純物とは、鋼材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、本実施形態による二相ステンレス鋼に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

【0082】

[二相ステンレス鋼の選択元素]

母材が上述の二相ステンレス鋼である場合、Feの一部に代えて、以下の第1群及び第2群のうち、少なくとも1群から選択される1種又は2種以上を含有してもよい。

40

【0083】

第1群: Ca: 0.020%以下、Mg: 0.020%以下及びB: 0.020%以下

第2群: 希土類元素(REM): 0.20%以下

【0084】

[第1群]

Ca: 0.020%以下

Mg: 0.020%以下

B: 0.020%以下

カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)及びボロン(B)は必要に応じて含有され

50

る。Ca、Mg及びBは、鋼中のS及びOと化合物を形成する。このため、鋼の熱間加工性を高める。母材に高い熱間加工性が求められる場合、これらの元素を含有させることで、高い熱間加工性を得ることができる。しかしながら、これらの元素の含有量が高すぎる場合、これらの元素の硫化物及び酸化物が過剰に析出する。このため、鋼の耐食性が低下する。したがって、Ca含有量は0.020%以下、Mg含有量は0.020%以下、B含有量は0.020%以下である。

【0085】

[第2群]

希土類元素(REM): 0.20%以下

希土類元素(REM)とは、原子番号57のランタン(La)から原子番号71のルテチウム(Lu)までの15元素と、イットリウム(Y)及びスカンジウム(Sc)を含む17元素の総称である。REM含有量は、これらの元素の合計含有量を意味する。REMは必要に応じて含有される。REMは鋼中のS及びOと化合物を形成する。このため、鋼の熱間加工性を高める。しかしながら、REM含有量が高すぎる場合、REMの硫化物及び酸化物が過剰に析出する。このため、鋼の耐食性が低下する。したがって、REM含有量は0.20%以下である。

10

【0086】

[製造方法]

本実施形態による溶接継手は、上述の溶接材料及び上述のステンレス鋼の母材を用いて、GMA溶接により製造される。

20

【0087】

初めに、母材となるステンレス鋼を準備する。母材となるステンレス鋼は、上述の化学組成を有し、通常の製造方法により製造される。たとえば、原材料を溶融し、ピレットを形成した後、圧延を行うことにより、継目無鋼管としてもよい。母材は、鋼板としてもよい。好ましくは母材の厚みは10~30mmである。

【0088】

次に、溶接材料となる二相ステンレス鋼を準備する。溶接材料は上述の化学組成を有し、GMA溶接に適切な形に成形される。溶接材料の形状はたとえば、ソリッドワイヤである。ワイヤ径は母材や溶接速度に応じて適宜選択される。一般に、母材の厚みが厚い程、ワイヤ径を太くして大電流溶接を適用する。ワイヤ径はたとえば、0.8~3.5mmである。

30

【0089】

準備された上述の溶接材料及び母材を用いて、GMA溶接を実施する。初めに、溶接装置を準備する。溶接装置は、半自動溶接装置でも自動溶接装置でもよい。溶接装置は、溶接電源、溶接材料供給装置、ガス供給装置及び溶接トーチを備える。溶接電源の出力は、一般に直流が用いられるが、交流を用いてもよい。溶接電源は、入力電圧などの外部条件が変動しても、出力が安定していることが好ましい。溶接材料供給装置は、溶接トーチに溶接材料を供給する。ガス供給装置の配管は溶接トーチと接続され、ガス供給装置は溶接トーチにシールドガスを供給する。溶接トーチは、供給された溶接材料と母材との間にアークを発生させ、溶融池と溶接ビードの形成を行うことで溶接金属を形成する。溶接部分が、供給されたシールドガスによって覆われることで大気から遮断され、アークが安定化する。

40

【0090】

使用するシールドガスはたとえば、アルゴン(Ar)やヘリウム(He)等の不活性ガスと炭酸(CO₂)ガスとの混合ガスである。上述のように、シールドガスの成分を調整することによって、溶接金属中の酸素(O)含有量を0.030%以下に調整することができる。したがって、溶接金属中のO含有量が0.030%以下となるようにガスの混合比及び流量を調整すればよい。たとえば、シールドガスの混合比をCO₂:Ar=1.0:99.0~5.0:95.0の範囲、シールドガスの流量を20~30L/分の範囲とすることで、溶接金属中のO含有量が0.030%以下となる。

50

【 0 0 9 1 】

〔 溶接継手の強度、靱性及びブローホール 〕

以上の工程により、母材と、溶接金属とを備えた溶接継手が製造される。本実施形態による溶接継手は、700MPa以上の引張強度を有し、-30℃におけるシャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは150J以上となる。さらに、ブローホールの発生が抑制される。

【 0 0 9 2 】

ブローホールは、以下の方法により確認できる。図1を参照して、溶接継手1の溶接金属2中に、溶接金属2の長手方向に100mm、溶接金属2の幅方向に30mmの領域3を選択する。選択された領域3に対して、JIS Z 3104(1995)に基づいて、鋼溶接継手の放射線透過試験方法を実施し、透過画像を撮影する。得られた画像中において、ブローホールの有無を確認する。

10

【 実施例 】

【 0 0 9 3 】

〔 母材の準備 〕

表1に示す化学組成を持つステンレス鋼を準備した。各ステンレス鋼は厚さが10mmの鋼板であった。

【 0 0 9 4 】

【表 1】

TABLE1

母材 番号	母材の化学組成(質量%) 残部:Feおよび不純物												
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	N	Al	Mo	W	その他
X	0.020	0.42	1.20	0.021	0.0001	0.06	22.57	5.40	0.1600	0.01	3.35	0.04	0.01%V及び0.001%REM
Y	0.020	0.26	0.50	0.023	0.0001	0.70	25.20	6.67	0.2800	0.014	3.08	2.03	0.0023%B及び0.0023%Ca
Z	0.007	0.25	0.39	0.014	0.0001	0.03	12.05	6.51	0.0068	0.012	2.41	-	-

【 0 0 9 5 】

母材番号 X 及び母材番号 Y は、二相ステンレスであった。母材番号 X は C r を 2 2 % 含み、母材番号 Y は C r を 2 5 % 含む二相ステンレス鋼であった。母材番号 Z は C r を 1 3 % 含むマルテンサイト系ステンレス鋼であった。

【 0 0 9 6 】

〔 溶接材料の準備 〕

表 2 に示す化学組成を持つワイヤを準備した。溶接材料番号 A、C、G、K 及び O は、いわゆる 2 2 C r 鋼を基にして化学組成を設定した。溶接材料番号 B、D ~ F、H ~ J 及び L ~ N はいわゆる 2 5 C r 鋼を基にして化学組成を設定した。ワイヤは直径 1 . 2 m m のソリッドワイヤであった。

【 0 0 9 7 】

【表 2】

溶接材料 番号	溶接材料の化学組成(質量%) 残部:Feおよび不純物														式(1)		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	N	Al	V	Mo	W	O	F1	F2	判定
A	0.008	0.39	1.70	0.004	0.0010	0.010	22.34	8.45	0.110	0.003	0.03	3.27	-	0.010	-1.24	-1.23	○
B	0.010	0.30	0.50	0.001	0.0020	0.300	25.70	9.00	0.260	0.009	0.02	2.80	2.10	0.005	-1.40	-1.39	○
C	0.010	0.49	1.90	0.019	0.0010	0.090	23.50	8.50	0.170	0.004	0.04	3.70	-	0.008	-1.31	-1.29	○
D	0.011	0.40	0.71	0.010	0.0010	0.100	25.10	9.50	0.220	0.015	0.05	3.90	-	0.009	-1.37	-1.34	○
E	0.014	0.38	1.50	0.016	0.0020	0.300	26.20	9.50	0.240	0.012	0.09	3.00	0.01	0.005	-1.44	-1.37	○
F	0.014	0.30	1.50	0.003	0.0010	0.600	27.00	9.80	0.310	0.005	0.03	3.80	-	0.004	-1.49	-1.44	○
G	0.014	0.41	1.69	0.017	0.0010	0.100	22.59	8.72	0.170	0.012	0.01	3.15	-	0.005	-1.24	-1.29	×
H	0.012	0.40	0.67	0.035	0.0100	0.100	25.10	9.50	0.220	0.009	0.05	3.93	-	0.005	-1.37	-1.34	○
I	0.011	0.42	0.66	0.022	0.0100	0.100	25.10	9.50	0.210	0.008	0.04	3.93	-	0.006	-1.37	-1.33	○
J	0.010	0.40	0.65	0.048	0.0100	0.120	24.90	9.50	0.220	0.004	0.03	3.90	-	0.005	-1.36	-1.34	○
K	0.012	0.74	1.68	0.018	0.0005	0.097	23.03	8.63	0.150	0.005	0.02	3.08	-	0.004	-1.25	-1.27	×
L	0.017	0.29	0.79	0.017	0.0010	0.580	25.10	9.40	0.280	0.004	0.06	3.61	0.61	0.005	-1.37	-1.41	×
M	0.015	0.35	0.67	0.016	0.0020	0.300	24.20	9.00	0.200	0.005	0.01	3.05	0.01	0.009	-1.31	-1.32	×
N	0.019	0.27	0.50	0.002	0.0020	0.400	25.71	8.92	0.256	0.001	0.01	3.08	2.04	0.010	-1.40	-1.38	○
O	0.016	0.40	1.80	0.006	0.0010	0.220	23.28	13.72	0.050	0.009	0.04	2.34	-	0.004	-1.24	-1.17	○

表 2 において、式 (1) の判定の欄に記載された「○」は、化学組成が式 (1) を満たしたことを示す。「×」は、化学組成が式 (1) を満たさなかったことを示す。

【 0 0 9 9 】

〔 G M A 溶接による溶接継手の製造 〕

準備した母材及び溶接材料を用いて G M A 溶接を行い、溶接継手を製造した。シールドガスは $C O_2 : A r = 1 . 0 : 9 9 . 0 \sim 6 . 0 : 9 4 . 0$ の混合ガスを用い、ガス流量は 2 5 L / 分、ノズル内径は 1 5 . 0 ~ 2 0 . 0 m m であった。入熱量を表 4 に記載のとおりに変化させ、溶接を実施した。

【 0 1 0 0 】

得られた溶接金属の化学組成は表 3 に示すとおりであった。

10

【 0 1 0 1 】

【表 3】

TABLE3

溶接金属 番号	母材	溶接材料	溶接金属の化学組成(質量%) 残部: Feおよび不純物													
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	N	Al	V	O	Mo	W
1	X	A	0.009	0.40	1.65	0.012	0.0010	0.020	22.41	8.21	0.11	0.009	0.05	0.015	3.11	0.04
2	Y	B	0.012	0.29	0.50	0.010	0.0020	0.500	25.50	8.70	0.21	0.009	0.04	0.017	3.24	2.08
3	X	C	0.012	0.47	1.80	0.018	0.0010	0.080	23.30	8.11	0.15	0.007	0.05	0.013	3.02	0.01
4	Z	D	0.010	0.38	0.67	0.012	0.0010	0.082	24.40	9.24	0.19	0.012	0.05	0.012	3.11	-
5	Y	E	0.015	0.36	1.30	0.017	0.0010	0.450	25.80	9.33	0.22	0.012	0.04	0.015	3.08	1.96
6	Z	F	0.013	0.29	1.22	0.008	0.0020	0.580	25.80	9.41	0.23	0.007	0.03	0.015	3.33	-
7	Z	B	0.009	0.28	0.48	0.007	0.0020	0.280	24.30	8.72	0.19	0.009	0.07	0.018	2.98	2.05
8	X	G	0.014	0.40	1.48	0.016	0.0020	0.080	22.52	8.13	0.14	0.010	0.05	0.017	3.02	0.01
9	Y	H	0.013	0.38	0.65	0.033	0.0010	0.410	26.10	9.22	0.17	0.009	0.05	0.015	3.44	1.88
10	Y	I	0.011	0.40	0.62	0.023	0.0010	0.310	25.10	9.31	0.19	0.009	0.04	0.013	3.78	1.97
11	Y	J	0.013	0.38	0.63	0.045	0.0010	0.340	24.95	9.22	0.18	0.007	0.04	0.017	3.66	1.88
12	X	K	0.013	0.70	1.55	0.018	0.0010	0.080	22.87	8.11	0.11	0.008	0.07	0.012	3.07	0.01
13	Y	L	0.017	0.28	0.68	0.018	0.0010	0.620	25.11	8.95	0.21	0.008	0.03	0.013	3.55	0.88
14	Z	M	0.011	0.33	0.60	0.015	0.0010	0.280	23.41	8.65	0.17	0.009	0.04	0.013	2.97	0.83
15	Z	N	0.017	0.27	0.44	0.007	0.0010	0.380	24.87	8.34	0.18	0.006	0.04	0.032	2.98	2.01
16	Z	O	0.013	0.39	1.45	0.008	0.0010	0.200	24.45	12.87	0.03	0.006	0.05	0.012	2.33	-

得られた溶接金属及び溶接継手に対して、以下の試験を行った。

【 0 1 0 3 】

[ブローホール有無確認試験]

得られた各溶接継手の溶接金属に対して、上述の測定法を実施し、溶接金属中のブローホールの有無を確認した。結果を表 4 に示す。表 4 のブローホールの有無の欄に記載された「○」は、溶接金属中にブローホールが確認されなかったことを示す。「×」は、溶接金属中にブローホールが確認されたことを示す。

【 0 1 0 4 】

[シャルピー衝撃試験]

得られた各溶接金属の靱性を、シャルピー衝撃試験によって評価した。得られた各溶接金属から、シャルピー衝撃試験片（V ノッチ試験片）を採取した。図 2 は、試験に用いた鋼板の鋼板表面に対し垂直な断面を正面から見た模式図である。図 2 を参照して、試験片 4 の V ノッチは、溶接継手 1 の溶接金属 2 の中央部に位置した。V ノッチ試験片 4 は幅 10 mm、厚さ 10 mm、長さ 55 mm 及びノッチ深さ 2 mm であった。採取した V ノッチ試験片を用いて、J I S Z 2 2 4 2 (2 0 0 5) に基づいてシャルピー衝撃試験を実施し、- 3 0 における吸収エネルギーを求めた。結果を表 4 に示す。表 4 の衝撃試験の欄に記載された「○」は、シャルピー衝撃試験の結果、- 3 0 における溶接金属の吸収エネルギーが 1 5 0 J 以上であったことを示す。「×」は、シャルピー衝撃試験の結果、- 3 0 における溶接金属の吸収エネルギーが 1 5 0 J 未満であったことを示す。

【 0 1 0 5 】

[引張試験]

得られた各溶接継手の強度を、引張試験によって評価した。得られた各溶接継手から、J I S Z 3 1 2 1 (2 0 0 4) に基づいて、4 A 号の弧状試験片を採取した。図 3 を参照して、試験片の中央部には溶接金属 2 が位置し、その両側には溶接熱影響部 5 と母材 6 とが順次位置した。採取した試験片を用いて引張試験を行い、室温（25）における引張強度（M P a）を測定した。結果を表 4 に示す。表 4 の引張試験の欄に記載された「○」は、引張試験の結果、室温（25）における溶接継手の引張強度が 7 0 0 M P a 以上であったことを示す。「×」は、室温（25）における溶接継手の引張強度が 7 0 0 M P a 未満であったことを示す。

【 0 1 0 6 】

10

20

30

【表 4】

TABLE4

溶接継手 番号	母材	溶接材料				製造条件		評価試験		
		溶接材料 番号	式(1)		入熱量 (kJ/mm)	シールドガス比	溶接金属		溶接継手 引張試験	
			F1	F2			判定	ブローホール		衝撃試験
1	X	A	-1.24	-1.23	○	0.4～1.0	Ar+2%CO2	○	○	○
2	Y	B	-1.40	-1.39	○	0.4～1.0	Ar+3%CO2	○	○	○
3	X	C	-1.31	-1.29	○	0.4～1.0	Ar+1%CO2	○	○	○
4	Z	D	-1.37	-1.34	○	1.0～2.5	Ar+1%CO2	○	○	○
5	Y	E	-1.44	-1.37	○	0.4～1.0	Ar+2%CO2	○	○	○
6	Z	F	-1.49	-1.44	○	0.4～1.0	Ar+2%CO2	○	○	○
7	Z	B	-1.40	-1.39	○	1.0～2.5	Ar+3%CO2	○	○	○
8	X	G	-1.24	-1.29	×	0.4～1.0	Ar+2%CO2	×	○	○
9	Y	H	-1.37	-1.34	○	0.4～1.0	Ar+2%CO2	○	×	○
10	Y	I	-1.37	-1.33	○	1.0～2.5	Ar+2%CO2	○	×	○
11	Y	J	-1.36	-1.34	○	1.0～2.5	Ar+2%CO2	○	×	○
12	X	K	-1.25	-1.27	×	0.4～1.0	Ar+2%CO2	×	○	○
13	Y	L	-1.37	-1.41	×	0.4～1.0	Ar+2%CO2	×	○	○
14	Z	M	-1.31	-1.32	×	0.4～1.0	Ar+2%CO2	×	○	○
15	Z	N	-1.40	-1.38	○	0.4～1.0	Ar+6%CO2	○	×	○
16	Z	O	-1.24	-1.17	○	0.4～1.0	Ar+2%CO2	○	×	×

【0107】

表4において、式(1)の判定の欄に記載された「○」は、化学組成が式(1)を満たしたことを示す。「×」は、化学組成が式(1)を満たさなかったことを示す。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 8 】

〔 評価結果 〕

表 1 ～ 4 を参照して、溶接材料番号 A ～ F の化学組成は適切であり、式 (1) を満たした (表 1 参照) 。さらに、得られた溶接金属の化学組成は適切であった (表 3 中、溶接金属番号 1 ～ 7 参照) 。そのため、得られた溶接継手の溶接金属にブローホールは確認されず、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 以上となり、優れた靱性を示した (表 4 中、溶接継手番号 1 ～ 7 参照) 。さらに、得られた溶接継手の引張強度は 7 0 0 M P a 以上となり、優れた強度を示した (表 4 中、溶接継手番号 1 ～ 7 参照) 。

【 0 1 0 9 】

溶接継手番号 1 は、母材を二相ステンレス鋼とし、2 2 C r 鋼を基にして溶接材料の化学組成を設定した例 (溶接材料番号 A) である。溶接継手番号 1 の溶接金属は、ブローホールが抑制され、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 以上となり、優れた靱性を示した。さらに、溶接継手番号 1 の溶接継手は、引張強度が 7 0 0 M P a 以上となり、優れた強度を示した。

10

【 0 1 1 0 】

溶接継手番号 2 及び 5 は、母材を二相ステンレス鋼とし、2 5 C r 鋼を基にして溶接材料の化学組成を設定した例 (溶接材料番号 B 及び E) である。いずれの溶接金属も、ブローホールが抑制され、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 以上となり、優れた靱性を示した。さらに、いずれの溶接継手も引張強度は 7 0 0 M P a 以上となり、優れた強度を示した。

20

【 0 1 1 1 】

溶接継手番号 3 は、溶接継手番号 1 と比較して N 含有量を高めた溶接材料 (溶接材料番号 C) を使用した例である。N 含有量が高い場合であっても、溶接材料の C r 、M o 及び M n 含有量を上げて N の溶解度を高めることで、溶接金属のブローホールを抑制可能であった。

【 0 1 1 2 】

溶接継手番号 4 及び 7 は、母材をマルテンサイト系ステンレス鋼とし、2 5 C r 鋼を基に化学組成を設定した溶接材料 (溶接材料番号 D 及び B) を用いて、入熱量を多くした例である。大入熱であっても、得られた溶接金属のシャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 以上となり、優れた靱性を示した。

30

【 0 1 1 3 】

溶接継手番号 6 は、溶接継手番号 4 及び 7 と比較して N 含有量を高めた溶接材料 (溶接材料番号 F) を使用した例である。N 含有量が高い場合であっても、溶接材料の C r 、M o 及び M n 含有量を上げて N の溶解度を高めることで、溶接金属のブローホールを抑制可能であった。

【 0 1 1 4 】

一方、溶接継手番号 8 及び 1 2 ～ 1 4 に使用した溶接材料 (溶接材料番号 G 、K 、L 及び M) の化学組成は適切であったが、式 (1) を満たさなかった。そのため、ブローホールが発生した。

【 0 1 1 5 】

溶接継手番号 9 ～ 1 1 に使用した溶接材料 (溶接材料番号 H 、I 及び J) の P 含有量が高すぎた。そのため、靱性が低下し、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 未満となった。

40

【 0 1 1 6 】

溶接継手番号 1 5 に使用した溶接材料 (溶接材料番号 N) の化学組成は適切であり、式 (1) を満たした。しかしながら、シールドガス中の C O ₂ 含有量が 6 % と高いため、溶接金属の O 含有量が高すぎた。そのため、靱性が低下し、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは 1 5 0 J 未満となった。

【 0 1 1 7 】

溶接継手番号 1 6 に使用した溶接材料 (溶接材料番号 O) の N i 含有量が高すぎ、さら

50

に、N含有量は低すぎた。このため、靱性が低下し、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーは150 J未満となった。さらに、強度が低下し、引張強度は700 MPa未満となった。

【0118】

図4は、溶接材料のN含有量、F1に定義されるNの溶解度及びブローホールの発生有無の関係を示す図であり、実施例の結果をプロットしたものである。図4に記載された「○」は、溶接金属中にブローホールが確認されなかったことを示す。「×」は、溶接金属中にブローホールが確認されたことを示す。図4を参照して、F1に定義されるNの溶解度が、F2に定義されるNの溶解度の下限より大きい場合、ブローホールが発生することがわかる。

10

【0119】

以上、本発明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発明を実施するための例示に過ぎない。したがって、本発明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】

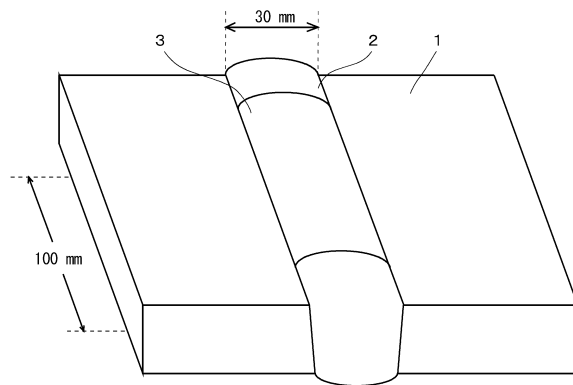
【0120】

- 1 溶接継手
- 2 溶接金属
- 6 母材

20

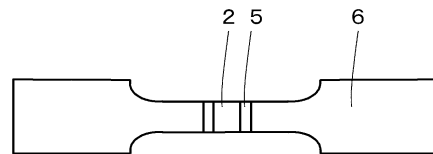
【図1】

FIG1



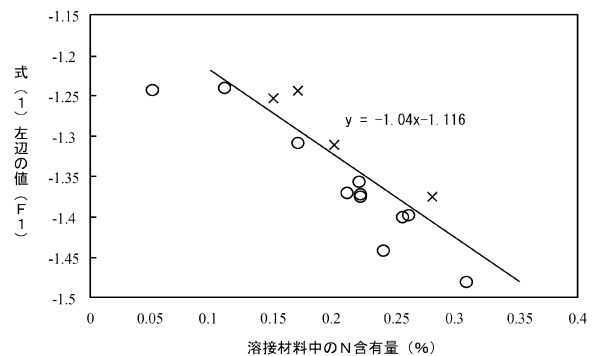
【図3】

FIG3



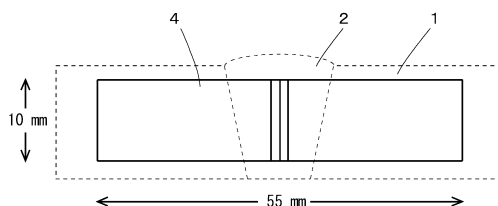
【図4】

FIG4



【図2】

FIG2



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 2 3 K 9/23 B

審査官 川口 由紀子

(56)参考文献 特開平 0 3 - 2 0 4 1 9 6 (J P , A)
特開昭 5 8 - 0 9 3 5 9 3 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 0 0 0 6 0 7 (J P , A)
特開平 0 9 - 2 5 6 1 1 5 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 6 0 1 0 1 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 0 7 1 5 8 9 (J P , A)
特開平 0 3 - 2 9 1 3 5 8 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 5 3 9 5 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B 2 3 K 3 5 / 3 0
B 2 3 K 9 / 2 3
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0