

(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2017-1048

(P2017-1048A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 35/30 (2006.01)	B 2 3 K 35/30 3 2 0 A	4 E 0 8 4
B 2 3 K 35/368 (2006.01)	B 2 3 K 35/368 B	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-115278 (P2015-115278)	(71) 出願人	000001199
(22) 出願日	平成27年6月5日 (2015.6.5)		株式会社神戸製鋼所
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号
		(74) 代理人	100120329
			弁理士 天野 一規
		(74) 代理人	100159499
			弁理士 池田 義典
		(74) 代理人	100158540
			弁理士 小川 博生
		(74) 代理人	100106264
			弁理士 石田 耕治
		(74) 代理人	100176876
			弁理士 各務 幸樹
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶接金属、溶接構造体、及びフラックス入りワイヤ

(57) 【要約】

【課題】 S R 焼鈍前及び S R 焼鈍後において共に高い強度及び低温靱性が得られる溶接金属を提供する。

【解決手段】 本発明の溶接金属は、 C : 0 . 0 2 質量%以上 0 . 1 0 質量%以下、 S i : 0 . 1 0 質量%以上 0 . 6 0 質量%以下、 M n : 0 . 9 0 質量%以上 2 . 5 質量%以下、 N i : 0 . 2 0 質量%以上 2 . 0 0 質量%以下、 C r : 0 . 1 0 質量%以上 1 . 0 0 質量%以下、 M o : 0 . 1 0 質量%以上 1 . 0 0 質量%以下、 T i : 0 . 0 4 0 質量%以上 0 . 1 0 質量%以下、 B : 0 . 0 0 1 0 質量%以上 0 . 0 0 5 0 質量%以下、 O : 0 . 0 3 0 質量%以上 0 . 1 0 0 質量%以下、 N : 0 質量%超 0 . 0 1 5 質量%以下、 N b + V : 0 . 0 1 質量%以上 0 . 0 5 質量%以下、 残部 : F e 及び不可避免的不純物である組成を有し、 直径 0 . 4 0 μ m 以上の粒界炭化物の平均円相当直径が 0 . 7 5 μ m 以下、 直径 0 . 5 μ m 以上の酸化物が $2 . 0 \times 10^{-4}$ 個 / m m ² 以下である。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

C : 0 . 0 2 質量 % 以上 0 . 1 0 質量 % 以下、
 Si : 0 . 1 0 質量 % 以上 0 . 6 0 質量 % 以下、
 Mn : 0 . 9 0 質量 % 以上 2 . 5 質量 % 以下、
 Ni : 0 . 2 0 質量 % 以上 2 . 0 0 質量 % 以下、
 Cr : 0 . 1 0 質量 % 以上 1 . 0 0 質量 % 以下、
 Mo : 0 . 1 0 質量 % 以上 1 . 0 0 質量 % 以下、
 Ti : 0 . 0 4 0 質量 % 以上 0 . 1 0 質量 % 以下、
 B : 0 . 0 0 1 0 質量 % 以上 0 . 0 0 5 0 質量 % 以下、
 O : 0 . 0 3 0 質量 % 以上 0 . 1 0 0 質量 % 以下、
 N : 0 質量 % 超 0 . 0 1 5 質量 % 以下、
 Nb + V : 0 . 0 1 質量 % 以上 0 . 0 5 質量 % 以下、
 残部 : Fe 及び不可避免の不純物

10

である組成を有し、

粒界に存在し、円相当直径が 0 . 4 0 μm 以上の炭化物の平均円相当直径が 0 . 7 5 μm 以下であり、

断面を顕微鏡で観察したときに、円相当直径が 0 . 5 μm 以上の酸化物の存在割合が $2 . 0 \times 10^{-4}$ 個 / mm^2 以下である溶接金属。

【請求項 2】

20

Cu : 0 質量 % 超 1 . 0 質量 % 以下、及び

Al : 0 質量 % 超 0 . 0 1 0 質量 % 以下

からなる群より選択される少なくとも 1 種の組成をさらに含む請求項 1 に記載の溶接金属。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の溶接金属を有する溶接構造体。

【請求項 4】

全質量に対し、

C : 0 . 0 2 質量 % 以上 0 . 1 2 質量 % 以下、

Si + Si 化合物 : Si 換算値で 0 . 1 0 質量 % 以上 1 . 0 0 質量 % 以下、

30

Mn : 0 . 9 質量 % 以上 3 . 5 質量 % 以下、

Ni : 0 . 2 0 質量 % 以上 2 . 0 0 質量 % 以下、

Cr : 0 . 1 0 質量 % 以上 1 . 0 0 質量 % 以下、

Mo : 0 . 1 0 質量 % 以上 1 . 0 0 質量 % 以下、

Ti + Ti 化合物 : Ti 換算値で 2 . 5 0 質量 % 以上 5 . 1 0 質量 % 以下、

B + B 化合物 : B 換算値で 0 . 0 0 1 質量 % 以上 0 . 0 2 0 質量 % 以下、

Nb + V + Nb 化合物 + V 化合物 : (Nb + V) 換算値で 0 . 0 1 質量 % 以上 0 . 0 5 質量 % 以下を含有し、

全質量に対する上記 Si 換算値、Mn 及び Ti 換算値のそれぞれの含有量 (質量 %) を [Si]、[Mn] 及び [Ti] とした場合、下記式 (1) で規定される Z 2 値が 5 0 以上 6 2 未満であることを特徴とするフラックス入りワイヤ。

40

$$Z2 \text{ 値} = 3 \times [\text{Si}] + 8 \times [\text{Mn}] + 20 \times [\text{Ti}] \quad \cdots (1)$$

【請求項 5】

全質量に対し、F 換算値で 0 . 0 5 質量 % 以上 0 . 3 0 質量 % 以下の F 化合物をさらに含有する請求項 4 に記載のフラックス入りワイヤ。

【請求項 6】

全質量に対し、(Na + K) 換算値で 0 . 0 1 質量 % 以上 0 . 3 0 質量 % 以下の Na 化合物、K 化合物又はこれらの組合せをさらに含有する請求項 4 又は請求項 5 に記載のフラックス入りワイヤ。

【請求項 7】

50

全質量に対し、Al換算値で0質量%超0.30質量%以下のAl、Al化合物又はこれらの組合せをさらに含有する請求項4、請求項5又は請求項6に記載のフラックス入りワイヤ。

【請求項8】

全質量に対し、0質量%超1質量%以下のCuをさらに含有する請求項4から請求項7のいずれか1項に記載のフラックス入りワイヤ。

【請求項9】

全質量に対し、0.2質量%以上0.8質量%以下のMgをさらに含有する請求項4から請求項8のいずれか1項に記載のフラックス入りワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、溶接金属、溶接構造体、及びフラックス入りワイヤに関する。

【背景技術】

【0002】

海底油田の掘削及び生産時に建造される海洋構造物（石油プラットフォーム）は、設備の大型化が進められ、また寒冷地での油田開発拡大が進められている。そのため、海洋構造物で適用される鋼板や溶接材料は、高レベルで強度及び低温靱性を両立することが求められる。ここで、海洋構造物のうち溶接構造物の溶接金属部には、溶接施工後に応力除去を目的とした長時間の焼鈍処理（Stress Relief 焼鈍：以下SR焼鈍と呼ぶ）が施されるが、このSR焼鈍により上記溶接金属部の強度及び靱性が劣化することがあることが指摘されている。そのため、溶接金属においてSR焼鈍後に高い強度と共に-40における靱性を十分に確保できることが求められている。また、海洋構造物には溶接施工後にSR焼鈍を施す必要がない箇所もあり、このような箇所においても高い強度と共に-40における靱性が求められる。つまり、SR焼鈍前及びSR焼鈍後のいずれにおいても高い強度と共に低温靱性を十分に確保できる技術が求められている。

【0003】

一方、上記溶接構造物を構築するために様々な溶接方法が適用されているが、作業効率に優れるという観点より、溶接材料としてフラックス入りワイヤ（FCW：Flux-cored Wire）を用いたガスシールドアーク溶接の適用が好ましいとされている。そのため、フラックス入りワイヤを用いたガスシールドアーク溶接において溶接金属の強度及び低温靱性に着目した様々な技術が提案されている。

【0004】

例えば、溶接材料のC（炭素）、Si（ケイ素）、Mn（マンガン）、Mo（モリブデン）、Ti（チタン）、Ni（ニッケル）、Al（アルミニウム）及びO（酸素）の含有量を制御することにより、SR焼鈍後の溶接金属に高い強度と優れた低温靱性を確保させる溶接材料が提案されている（特開2006-239733号公報参照）。しかし、この溶接金属の靱性評価温度は-29とやや高いものであり、より低温である-40での靱性が保証されているとはいえない。

【0005】

また、フラックス入りワイヤのワイヤにCr（クロム）、Mo、Cu（銅）、Ti、B（ホウ素）等を適量添加すると共にスラグ剤の組成を制御することにより、SR焼鈍後の溶接金属に高い強度と優れた低温靱性を確保させる溶接材料が提案されている（特開平9-253886号公報参照）。しかし、この溶接金属の靱性評価温度は-30とやや高いものであり、より低温である-40での靱性が保証されているとはいえない。

【0006】

また、溶接時に溶接金属の粒界上に生成する所定の大きさの炭化物（以下、この炭化物を「粒界炭化物」と呼ぶ）の形態を制御することにより、SR焼鈍後の溶接金属に高い強度と優れた低温靱性を確保させる溶接材料が提案されている（特開2014-195832号公報参照）。しかし、この溶接金属は、SR焼鈍後に高い強度と優れた低温靱性が

10

20

30

40

50

確保されるものの、S R 焼鈍前の強度及び低温靱性について評価されておらず、S R 焼鈍前の強度及び低温靱性が保証されているとはいえない。

【0007】

また、溶接時に溶接金属内に生成される酸化物の形態を制御することにより、溶接金属に高い強度と優れた低温靱性とを確保させる溶接材料が提案されている（特開2006-257481号公報参照）。しかし、この溶接金属は、S R 焼鈍前についてしか評価されておらず、S R 焼鈍後の強度及び低温靱性について保証されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

10

【特許文献1】特開2006-239733号公報

【特許文献2】特開平9-253886号公報

【特許文献3】特開2014-195832号公報

【特許文献4】特開2006-257481号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、上述のような事情に基づいてなされたものであり、フラックス入りワイヤを用いるガスシールドアーク溶接で、S R 焼鈍前及びS R 焼鈍後において共に高い強度及び-40以下での高い靱性が得られる溶接金属、溶接構造体及びフラックス入りワイヤの提供を目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、鋭意検討した結果、比較的粗大な酸化物が溶接金属内に存在する場合、溶接後、S R 焼鈍前の状態で低温での靱性が良好であっても、S R 焼鈍後に低温での靱性が大幅に低下することを見出した。また、S R 焼鈍において粒界に生成する炭化物のサイズが大きいほど溶接金属の靱性が低下することが知られている。これらのことより、本発明者らは、溶接金属の化学成分組成を制御すること、溶接時に溶接金属に生成する炭化物の大きさを制御すること、及び溶接時に溶接金属に生成する比較的粗大な酸化物の存在割合を制御することで、S R 焼鈍後に高い強度と優れた低温靱性とを発揮する溶接金属を実現できることを見出した。具体的には、粒界炭化物の粗大化と焼鈍軟化とを抑制する作用を有するMoを溶接金属に添加し、化学成分組成を制御するとよいことを見出した。また、Moを含む化学成分組成の制御により上記粒界炭化物の大きさを所定範囲内とし、かつ上記酸化物の存在割合を所定範囲内とするとよいことを見出した。また、本発明者らは、このように粒界炭化物の大きさ及び酸化物の存在割合を制御することで、S R 焼鈍前の溶接金属の強度及び低温靱性も向上することを見出した。ここで、溶接金属は「結晶粒」と呼ぶ配列の向きが異なる領域が多数集まった構造を有しており、「粒界」とは、これらの結晶粒の境界を意味し、フェライト粒界はもちろんのこと、旧オーステナイト粒界、ブロック境界、パケット境界などを含む大傾角粒界のことである。

30

【0011】

40

すなわち、上記課題を解決するためになされた発明は、C（炭素）：0.02質量%以上0.10質量%以下、Si（ケイ素）：0.10質量%以上0.60質量%以下、Mn（マンガン）：0.90質量%以上2.5質量%以下、Ni（ニッケル）：0.20質量%以上2.00質量%以下、Cr（クロム）：0.10質量%以上1.00質量%以下、Mo（モリブデン）：0.10質量%以上1.00質量%以下、Ti（チタン）：0.040質量%以上0.10質量%以下、B（ホウ素）：0.0010質量%以上0.0050質量%以下、O：（酸素）0.030質量%以上0.100質量%以下、N（窒素）：0質量%超0.015質量%以下、Nb（ニオブ）+V（バナジウム）：0.01質量%以上0.05質量%以下、残部：Fe（鉄）及び不可避免的不純物である組成を有し、粒界に存在し、円相当直径が0.40μm以上の炭化物の平均円相当直径が0.75μm以下

50

であり、断面を顕微鏡で観察したときに、円相当直径が $0.5 \mu\text{m}$ 以上の酸化物の存在割合が 2.0×10^{-4} 個 / mm^2 以下である溶接金属である。

【0012】

当該溶接金属は、各組成の含有量を上記範囲内とすることで、高い強度及び靱性が得られる。つまり、焼鈍軟化を抑制する作用を有する上記量の Mo を含有することで、高い強度が得られる。また、当該溶接金属は、上記量の Mo と上記合計量の Nb 及び V とを含有することにより粒界炭化物の粗大化を抑制でき、その結果、円相当直径が $0.40 \mu\text{m}$ 以上の粒界炭化物の平均円相当直径を $0.75 \mu\text{m}$ 以下にできる。また、当該溶接金属は、上記範囲内の O を含有することで酸化物の粗大化を抑制でき、その結果、円相当直径が $0.5 \mu\text{m}$ 以上の酸化物の存在割合を 2.0×10^{-4} 個 / mm^2 にできる。これらにより、当該溶接金属は、粗大な粒界炭化物又は粗大な酸化物を起点とする亀裂が発生し難く、SR 焼鈍時における靱性の低下が抑制される。また、当該溶接金属は、酸化物の存在割合を上記上限以下とすることで、SR 焼鈍前の低温靱性も向上し、SR 焼鈍前後において高い強度と -40 以下での高い靱性とが得られる。ここで、「円相当直径」とは、透過型電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope) 等の観察面上で認められる炭化物粒子又は酸化物粒子の面積と等面積の真円の直径を意味する。

【0013】

Cu (銅): 0 質量% 超 1.0 質量% 以下、及び Al (アルミニウム): 0 質量% 超 0.010 質量% 以下からなる群より選択される少なくとも 1 種の組成をさらに含むとよい。このように、上記組成を含むことにより、強度及び低温靱性の向上効果を促進できる。

【0014】

また、上記課題を解決するためになされた別の発明は、上記溶接金属を有する溶接構造体である。このように、当該溶接構造体は上記溶接金属を有しているので、SR 焼鈍前及び SR 焼鈍後のいずれにおいても高い強度及び -40 以下での高い靱性が得られる。

【0015】

また、上記課題を解決するためになされた別の発明は、全質量に対し、C (炭素): 0.02 質量% 以上 0.12 質量% 以下、Si (ケイ素) + Si 化合物: Si 換算値で 0.10 質量% 以上 1.00 質量% 以下、Mn (マンガン): 0.9 質量% 以上 3.5 質量% 以下、Ni (ニッケル): 0.20 質量% 以上 2.00 質量% 以下、Cr (クロム): 0.10 質量% 以上 1.00 質量% 以下、Mo (モリブデン): 0.10 質量% 以上 1.00 質量% 以下、Ti (チタン) + Ti 化合物: Ti 換算値で 2.50 質量% 以上 5.10 質量% 以下、B (ホウ素) + B 化合物: B 換算値で 0.001 質量% 以上 0.020 質量% 以下、Nb (ニオブ) + V (バナジウム) + Nb 化合物 + V 化合物: (Nb + V) 換算値で 0.01 質量% 以上 0.05 質量% 以下を含有し、全質量に対する上記 Si 換算値、Mn 及び Ti 換算値のそれぞれの含有量 (質量%) を [Si]、[Mn] 及び [Ti] とした場合、下記式 (1) で規定される Z2 値が 50 以上 62 未満であることを特徴とするフラックス入りワイヤである。

$$Z2 \text{ 値} = 3 \times [\text{Si}] + 8 \times [\text{Mn}] + 20 \times [\text{Ti}] \quad \cdots (1)$$

【0016】

当該フラックス入りワイヤは、全質量に対する各元素の含有割合を上記範囲内とし、さらに溶接時に生成される粒界炭化物形態の指標である上記 Z2 値を上記範囲内とすることで粒界炭化物の粗大化を抑制できるので、SR 焼鈍時における靱性の低下を抑制でき、SR 焼鈍後の溶接金属の低温靱性を向上させ易い。ここで、「換算値」とは、その元素単体の含有量に換算した値を意味し、例えば「Si 換算値」とは、「金属 Si」及び「Si 化合物」の含有量をこれらに含まれる「金属 Si」のみの含有量に換算した値である。

【0017】

当該フラックス入りワイヤが、全質量に対し、F (フッ素) 換算値で 0.05 質量% 以上 0.30 質量% 以下の F 化合物をさらに含有するとよい。このように、上記量の F 化合物を含有することにより、溶接時のアークを安定させることができるので、スパッタの発

生及びビード形状の劣化を抑制できる。

【0018】

当該フラックス入りワイヤが、全質量に対し、(Na(ナトリウム) + K(カリウム))換算値で0.01質量%以上0.30質量%以下のNa化合物、K化合物又はこれらの組合せをさらに含有するとよい。このように、上記合計量のNa化合物、K化合物又はこれらの組合せを含有することにより、溶接時のアークをさらに安定させることができ、スパッタの発生及びビード形状の劣化をより抑制できる。

【0019】

当該フラックス入りワイヤが、全質量に対し、Al(アルミニウム)換算値で0質量%超0.30質量%以下のAl、Al化合物又はこれらの組合せをさらに含有するとよい。このように、上記量のAl、Al化合物又はこれらの組合せを含有することにより、溶接時に微細組織生成の起点となる酸化物を粗大化させずに形成させ易く、溶接金属の強度及び靱性の向上効果を促進できる。

10

【0020】

当該フラックス入りワイヤが、全質量に対し、0質量%超1質量%以下のCu(銅)をさらに含有するとよい。このように、上記量のCuを含有することにより、溶接金属の靱性の低下を抑制しつつ強度の向上効果を促進できる。

【0021】

当該フラックス入りワイヤが、全質量に対し、0.2質量%以上0.8質量%以下のMg(マグネシウム)をさらに含有するとよい。このように、上記量のMgを含有することにより、溶接金属中の不純物である酸素の除去を促進できる。

20

【発明の効果】

【0022】

以上説明したように、本発明の溶接金属、溶接構造体及びフラックス入りワイヤは、フラックス入りワイヤを用いるガスシールドアーク溶接で、SR焼鈍前及びSR焼鈍後において共に高い強度及び-40以下での高い靱性が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】実施例において溶接金属を作製するときの開先形状を示す模式図である。

【図2A】粒界炭化物の平均円相当直径を算出する方法を説明するための第1の概念図である。

30

【図2B】粒界炭化物の平均円相当直径を算出する方法を説明するための第2の概念図である。

【図2C】粒界炭化物の平均円相当直径を算出する方法を説明するための第3の概念図である。

【図3】実施例において引張試験を行ったときの試験片の形状を示す模式図である。

【図4】実施例において靱性の評価に用いる試験片の採取位置を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明に係る溶接金属、溶接構造体、及びフラックス入りワイヤの実施形態について説明する。

40

【0025】

[溶接金属]

【0026】

当該溶接金属は、粒界に存在し、円相当直径が0.40μm以上の炭化物の平均円相当直径が0.75μm以下である。

【0027】

SR焼鈍において生成する炭化物のサイズが大きいほど溶接金属の靱性は低くなるが、粒界に生成する粒界炭化物は粒内の炭化物に比べ粗大化し易い。また、旧オーステナイト粒界は焼鈍により脆化するため、旧オーステナイト粒界から亀裂が優先的に進展し易い。

50

従って、粗大な炭化物が旧オーステナイト粒界に存在すると、それらを起点に亀裂が発生し易くなるため、焼鈍による脆化現象と相俟ってSR焼鈍時に靱性が著しく低下する。これに対し、当該溶接金属は、上述のように粒界炭化物が微細に保たれるので、SR焼鈍後に優れた低温靱性が得られる。

【0028】

当該溶接金属の粒界に存在する炭化物のうち、円相当直径で $0.40\mu\text{m}$ 以上の炭化物の平均円相当直径の上限としては、上述したように $0.75\mu\text{m}$ であり、 $0.70\mu\text{m}$ が好ましく、 $0.65\mu\text{m}$ がより好ましい。なお、粒界炭化物サイズが著しく微細化し、後述する粒界炭化物の平均円相当直径の測定方法によっても粒界炭化物の平均円相当直径が評価できない場合があるが、この場合、「円相当直径で $0.40\mu\text{m}$ 以上の粒界炭化物の平均円相当直径が $0.75\mu\text{m}$ 以下である」と判断する。

10

【0029】

当該溶接金属は、断面を顕微鏡で観察したときに、円相当直径が $0.5\mu\text{m}$ 以上の酸化物の存在割合が 2.0×10^{-4} 個/ mm^2 以下である。

【0030】

フラックス入りワイヤにはTi、Si、Mn等の酸化物を形成する元素がフラックス等に配合されており、溶接時にこれらの酸化物が生成されるので、当該溶接金属内には酸化物が存在する。溶接金属は、これらが微細な酸化物であれば靱性が向上するが、これらの酸化物が比較的粗大であると粗大な炭化物と同様に亀裂の起点として作用するため、焼鈍による脆化現象と相俟ってSR焼鈍後の靱性が著しく低下する。これに対し、当該溶接金属は、上述のように比較的粗大な酸化物の個数が一定量に制限されているので、SR焼鈍後に優れた低温靱性が得られる。また、このように比較的粗大な酸化物の個数を一定量に制限することで、当該溶接金属のSR焼鈍前の低温靱性も向上する。

20

【0031】

円相当直径が $0.5\mu\text{m}$ 以上の酸化物の存在割合の上限としては、上述したように 2.0×10^{-4} 個/ mm^2 であり、 1.5×10^{-4} 個/ mm^2 が好ましく、 1.0×10^{-4} 個/ mm^2 がより好ましい。

【0032】

< 組成 >

当該溶接金属は、C（炭素）： 0.02 質量%以上 0.10 質量%以下、Si（ケイ素）： 0.10 質量%以上 0.60 質量%以下、Mn（マンガン）： 0.90 質量%以上 2.5 質量%以下、Ni（ニッケル）： 0.20 質量%以上 2.00 質量%以下、Cr（クロム）： 0.10 質量%以上 1.00 質量%以下、Mo（モリブデン）： 0.10 質量%以上 1.00 質量%以下、Ti（チタン）： 0.040 質量%以上 0.10 質量%以下、B（ホウ素）： 0.0010 質量%以上 0.0050 質量%以下、O：（酸素） 0.030 質量%以上 0.100 質量%以下、N（窒素）： 0 質量%超 0.015 質量%以下、Nb（ニオブ）+V（バナジウム）： 0.01 質量%以上 0.05 質量%以下、残部：Fe（鉄）及び不可避免的不純物である組成を有する。

30

【0033】

〔C（炭素）〕

Cは、SR焼鈍後における当該溶接金属の強度を確保する元素である。当該溶接金属のC含有量の下限としては、 0.02 質量%であり、 0.03 質量%が好ましく、 0.04 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のC含有量の上限としては、 0.10 質量%であり、 0.08 質量%が好ましく、 0.07 質量%がより好ましい。当該溶接金属のC含有量が上記下限より小さいと、SR焼鈍後に所定の強度が得られないおそれがある。逆に、当該溶接金属のC含有量が上記上限を超えると、SR焼鈍時に粒界炭化物の粗大化を招き、当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

40

【0034】

〔Si（ケイ素）〕

Siは、SR焼鈍後における当該溶接金属の強度を確保する元素である。当該溶接金属

50

の S i 含有量の下限としては、0.10 質量%であり、0.12 質量%が好ましく、0.15 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属の S i 含有量の上限としては、0.60 質量%であり、0.50 質量%が好ましく、0.45 質量%がより好ましい。当該溶接金属の S i 含有量が上記下限より小さいと、S R 焼鈍後に所定の強度が得られないおそれがある。逆に、当該溶接金属の S i 含有量が上記上限を超えると、S R 焼鈍時の焼戻し脆化を助長すると共に低温靱性に悪影響を及ぼす硬質第二相の生成を助長し、当該溶接金属の靱性の低下を招くおそれがある。

【0035】

〔M n (マンガン)〕

M n は、溶接時の微細組織生成の起点となる酸化物を形成し、当該溶接金属の強度及び低温靱性を向上させる元素である。当該溶接金属の M n 含有量の下限としては、0.90 質量%であり、1.1 質量%が好ましく、1.3 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属の M n 含有量の上限としては、2.5 質量%であり、2.2 質量%が好ましく、2.0 質量%がより好ましい。当該溶接金属の M n 含有量が上記下限より小さいと、酸化物が形成され難くなり、当該溶接金属の強度及び低温靱性を十分に向上できないおそれがある。逆に、当該溶接金属の M n 含有量が上記上限を超えると、S R 焼鈍時の焼戻し脆化を助長し、当該溶接金属の靱性の低下を招くおそれがある。

10

【0036】

〔N i (ニッケル)〕

N i は、当該溶接金属の低温靱性向上に有効な元素である。当該溶接金属の N i 含有量の下限としては、0.20 質量%であり、0.40 質量%が好ましく、0.60 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属の N i 含有量の上限としては、2.00 質量%であり、1.80 質量%が好ましく、1.60 質量%がより好ましい。当該溶接金属の N i 含有量が上記下限より小さいと、当該溶接金属の低温靱性を十分に向上できないおそれがある。逆に、当該溶接金属の N i 含有量が上記上限を超えると、シャルピー試験において上部棚エネルギーが低下するので、S R 焼鈍後において当該溶接金属が所定の靱性を得られなくなると考えられる。

20

【0037】

〔C r (クロム)〕

C r は、S R 焼鈍時の粒界炭化物を微細化する作用を有する元素である。当該溶接金属の C r 含有量の下限としては、0.10 質量%であり、0.20 質量%が好ましく、0.30 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属の C r 含有量の上限としては、1.00 質量%であり、0.80 質量%が好ましく、0.70 質量%がより好ましい。当該溶接金属の C r 含有量が上記下限より小さいと、S R 焼鈍時に粒界炭化物が微細化せず、当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。逆に、当該溶接金属の C r 含有量が上記上限を超えると、粒界炭化物が粗大化して当該溶接金属の靱性が却って低下するおそれがある。

30

【0038】

〔M o (モリブデン)〕

M o は、溶接金属中への微細析出により粒界炭化物の粗大化と焼鈍軟化とを抑制する元素である。当該溶接金属の M o 含有量の下限としては、0.10 質量%であり、0.20 質量%が好ましく、0.30 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属の M o 含有量の上限としては、1.00 質量%であり、0.80 質量%が好ましく、0.60 質量%がより好ましい。当該溶接金属の M o 含有量が上記下限より小さいと、粒界炭化物の粗大化と焼鈍軟化とを十分に抑制できないおそれがある。逆に、当該溶接金属の M o 含有量が上記上限を超えると、S R 焼鈍時に微細な炭化物を析出することにより当該溶接金属の強度が過大に上昇し、これにより低温での靱性を低下させるおそれがある。

40

【0039】

〔T i (チタン)〕

T i は、溶接時の微細組織生成の起点となる酸化物を形成し、当該溶接金属の靱性を向上させる元素である。当該溶接金属の T i 含有量の下限としては、0.040 質量%であ

50

り、0.050質量%が好ましく、0.055質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のTi含有量の上限としては、0.10質量%であり、0.080質量%が好ましく、0.070質量%がより好ましい。当該溶接金属のTi含有量が上記下限より小さいと、酸化物が形成され難くなり、当該溶接金属の靱性を十分に向上できないおそれがある。逆に、当該溶接金属のTi含有量が上記上限を超えると、SR焼鈍時に微細な炭化物を析出することにより当該溶接金属の強度が過大に上昇し、これにより低温での靱性を低下させるおそれがある。

【0040】

〔B（ホウ素）〕

Bは、当該溶接金属の強度及び靱性に対して悪影響を及ぼす粒界フェライトの生成を抑制する元素である。当該溶接金属のB含有量の下限としては、0.0010質量%であり、0.0012質量%が好ましく、0.0015質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のB含有量の上限としては、0.0050質量%であり、0.0045質量%が好ましく、0.0040質量%がより好ましい。当該溶接金属のB含有量が上記下限より小さいと、粒界フェライトの生成を十分に抑制できず、当該溶接金属の所定の強度及び靱性を確保できないおそれがある。逆に、当該溶接金属のB含有量が上記上限を超えると、当該溶接金属の強度が過大に上昇し、靱性が低下するおそれがある。

10

【0041】

〔O（酸素）〕

Oは、溶接時の微細組織生成の起点となる酸化物を形成し、当該溶接金属の靱性を向上させる元素である。当該溶接金属のO含有量の下限としては、0.030質量%であり、0.035質量%が好ましく、0.040質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のO含有量の上限としては、0.100質量%であり、0.080質量%が好ましく、0.060質量%がより好ましい。当該溶接金属のO含有量が上記下限より小さいと、酸化物が十分に形成されず、当該溶接金属の所定の靱性を確保できないおそれがある。逆に、当該溶接金属のO含有量が上記上限を超えると、酸化物の粗大化を招き、当該溶接金属の靱性を却って低下させるおそれがある。

20

【0042】

〔N（窒素）〕

Nは、当該溶接金属中に不可避免的に含まれる元素であり、その含有量を0質量%とすることは工業的に不可能である。従って、当該溶接金属のN含有量は、0質量%超である。一方、当該溶接金属のN含有量の上限としては、0.015質量%であり、0.010質量%が好ましく、0.008質量%がより好ましい。当該溶接金属のN含有量が上記上限を超えると、当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

30

【0043】

〔Nb（ニオブ）及びV（バナジウム）〕

Nb及びVは、粒界炭化物の粗大化を抑制する元素である。当該溶接金属におけるNb及びVの合計含有量の下限としては、0.01質量%であり、0.012質量%が好ましく、0.015質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属におけるNb及びVの合計含有量の上限としては、0.05質量%であり、0.045質量%が好ましく、0.040質量%がより好ましい。Nb及びVの合計含有量が上記下限より小さいと、粒界炭化物の粗大化を十分に抑制できないおそれがある。逆に、Nb及びVの合計含有量が上記上限を超えると、SR焼鈍時に微細な炭化物を析出することにより当該溶接金属の強度が過大に上昇し、これにより低温での靱性を低下させるおそれがある。

40

【0044】

当該溶接金属は、上述した基本成分以外に残部にFe及び不可避免の不純物を含む。また、不可避免の不純物としては、例えば原料、資材、製造設備等の状況によって持ち込まれるP（リン）、S（硫黄）、Sn（スズ）等の元素の混入が許容される。不可避免の不純物のうち、特にPはSR焼鈍時に焼戻し脆化を著しく助長する元素であるので、少なくとも0.010質量%以下に抑制することが好ましい。

50

【 0 0 4 5 】

〔 C u (銅) 〕

当該溶接金属は、その他の元素として例えばC uを添加してもよい。C uは、当該溶接金属の強度を確保する上で有用な元素である。当該溶接金属のC u含有率としては、0 質量%超が好ましく、C u含有率の下限としては、0 . 0 5 質量%が好ましく、0 . 1 0 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のC u含有量の上限としては、1 . 0 質量%が好ましく、0 . 8 質量%がより好ましい。当該溶接金属のC u含有量が上記下限より小さいと、当該溶接金属の強度の向上効果が不十分となるおそれがある。逆に、当該溶接金属のC u含有量が上記上限を超えると、S R焼鈍時に微細に析出することで当該溶接金属の強度を過大に上昇させ、靱性の低下を招くおそれがある。

10

【 0 0 4 6 】

〔 A l (アルミニウム) 〕

また、当該溶接金属は、その他の元素としてA lを添加してもよい。A lは、溶接時の微細組織生成の起点となる酸化物を形成し、当該溶接金属の強度及び靱性を向上させる元素である。当該溶接金属のA l含有量としては、0 質量%超が好ましく、A l含有率の下限としては、0 . 0 0 3 質量%が好ましく、0 . 0 0 5 質量%がより好ましい。一方、当該溶接金属のA l含有量の上限としては、0 . 0 1 0 質量%が好ましく、0 . 0 0 9 質量%がより好ましく、0 . 0 0 8 質量%がさらに好ましい。当該溶接金属のA l含有量が上記下限より小さいと、酸化物が十分に形成されず、当該溶接金属の強度及び靱性の向上効果が不十分となるおそれがある。逆に、当該溶接金属のA l含有量が上記上限を超えると、酸化物の粗大化を招き、却って当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

20

【 0 0 4 7 】

< 溶接方法 >

当該溶接金属を得るための溶接方法としては、溶接材料としてフラックス入りワイヤ (F C W) を用いたガスシールドアーク溶接が好ましい。このようにアーク溶接法を適用することによって、溶接時の作業効率を向上できる。

【 0 0 4 8 】

ただし、当該溶接金属を実現するためには、溶接材料及び溶接条件を適切に制御する必要がある。溶接材料成分は、当然ながら必要とされる溶接金属成分により制約を受け、また所定の炭化物形態を得るためには、溶接条件及び溶接材料成分を適切に制御しなければならない。

30

【 0 0 4 9 】

〔 フラックス入りワイヤ 〕

当該フラックス入りワイヤは、筒状の鋼製外皮の内側にフラックスを充填したものであり、この鋼製外皮及びフラックスを合せた全質量に対し、C : 0 . 0 2 質量%以上0 . 1 2 質量%以下、S i + S i 化合物 : S i 換算値で0 . 1 0 質量%以上1 . 0 0 質量%以下、M n : 0 . 9 質量%以上3 . 5 質量%以下、N i : 0 . 2 0 質量%以上2 . 0 0 質量%以下、C r : 0 . 1 0 質量%以上1 . 0 0 質量%以下、M o : 0 . 1 0 質量%以上1 . 0 0 質量%以下、T i + T i 化合物 : T i 換算値で2 . 5 0 質量%以上5 . 1 0 質量%以下、B + B 化合物 : B 換算値で0 . 0 0 1 質量%以上0 . 0 2 0 質量%以下、N b + V + N b 化合物 + V 化合物 : (N b + V) 換算値で0 . 0 1 質量%以上0 . 0 5 質量%以下を含む。当該フラックス入りワイヤは、鋼製外皮及びフラックスの合計で上記量の各成分を有していればよく、上記量の各成分を有することで上述の組成を有する当該溶接金属を得ることができる。

40

【 0 0 5 0 】

〔 C (炭素) 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対するC含有量の下限としては、0 . 0 2 質量%であり、0 . 0 3 質量%が好ましく、0 . 0 4 質量%がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対するC含有量の上限としては、0 . 1 2 質量%であり、0 . 1 0 質量%が好ましく、0 . 0 8 質量%がより好ましい。

50

【 0 0 5 1 】

〔 S i (ケイ素) 及び S i 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する S i 及び S i 化合物の S i 換算値の下限としては、 0 . 1 0 質量 % であり、 0 . 1 5 質量 % が好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 S i 換算値の上限としては、 1 . 0 0 質量 % であり、 0 . 7 0 質量 % が好ましい。

【 0 0 5 2 】

〔 M n (マンガン) 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M n 含有量の下限としては、 0 . 9 質量 % であり、 1 . 1 質量 % が好ましく、 1 . 5 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M n 含有量の上限としては、 3 . 5 質量 % であり、 3 . 3 質量 % が好ましく、 3 . 0 質量 % がより好ましい。

10

【 0 0 5 3 】

〔 N i (ニッケル) 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する N i 含有量の下限としては、 0 . 2 0 質量 % であり、 0 . 3 0 質量 % が好ましく、 0 . 4 0 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する N i 含有量の上限としては、 2 . 0 0 質量 % であり、 1 . 8 0 質量 % が好ましく、 1 . 6 0 質量 % がより好ましい。

【 0 0 5 4 】

〔 C r (クロム) 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する C r 含有量の下限としては、 0 . 1 0 質量 % であり、 0 . 2 0 質量 % が好ましく、 0 . 3 0 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する C r 含有量の上限としては、 1 . 0 0 質量 % であり、 0 . 9 0 質量 % が好ましく、 0 . 8 0 質量 % がより好ましい。

20

【 0 0 5 5 】

〔 M o (モリブデン) 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M o 含有量の下限としては、 0 . 1 0 質量 % であり、 0 . 2 0 質量 % が好ましく、 0 . 3 0 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M o 含有量の上限としては、 1 . 0 0 質量 % であり、 0 . 9 0 質量 % が好ましく、 0 . 8 0 質量 % がより好ましい。

30

【 0 0 5 6 】

〔 T i (チタン) 及び T i 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する T i 及び T i 化合物の T i 換算値の下限としては、 2 . 5 0 質量 % であり、 2 . 8 0 質量 % が好ましく、 3 . 0 0 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 T i 換算値の上限としては、 5 . 1 0 質量 % であり、 4 . 1 0 質量 % が好ましく、 3 . 9 0 質量 % がより好ましい。

【 0 0 5 7 】

〔 B (ホウ素) 及び B 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する B 及び B 化合物の B 換算値の下限としては、 0 . 0 0 1 質量 % であり、 0 . 0 0 1 2 質量 % が好ましく、 0 . 0 0 1 5 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 B 換算値の上限としては、 0 . 0 2 0 質量 % であり、 0 . 0 1 8 質量 % が好ましく、 0 . 0 1 6 質量 % がより好ましい。

40

【 0 0 5 8 】

〔 N b (ニオブ) 、 V (バナジウム) 、 N b 化合物及び V 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤの全質量に対する N b 、 V 、 N b 化合物及び V 化合物の (N b + V) 換算値の下限としては、 0 . 0 1 質量 % であり、 0 . 0 1 2 質量 % が好ましく、 0 . 0 1 5 質量 % がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 (N b + V) 換算値の上限としては、 0 . 0 5 質量 % であり、 0 . 0 4 質量 % が好ましく、 0 . 0 3 質量 % がより好ましい。

【 0 0 5 9 】

50

当該フラックス入りワイヤは、上述した基本成分以外に F e 及び不可避免の不純物を含む。当該フラックス入りワイヤに含まれる F e は、外皮を構成する F e、フラックスに含有される鉄粉、合金粉の F e が相当する。また、不可避免の不純物としては、外皮又はフラックスに含まれる P (リン)、S (硫黄)、S n (スズ) 等が挙げられる。なお、当該フラックス入りワイヤは、例えば上述した基本成分以外の残部が F e 及び不可避免の不純物のみで構成されてもよい。

【 0 0 6 0 】

〔 F (フッ素) 〕

当該フラックス入りワイヤは、その他の成分として例えば F 化合物を含有してもよい。F 化合物は、溶接時にアークを安定化させる効果を有しており、鋼製外皮又はフラックスへの添加により含有させることができる。当該フラックス入りワイヤの全質量に対する F 化合物の F 換算値の下限としては、0.05 質量% が好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 F 換算値の上限としては、0.30 質量% が好ましい。当該フラックス入りワイヤの F 換算値が上記下限より小さいと、アークの安定化の効果が十分に得られないおそれがある。逆に、当該フラックス入りワイヤの F 換算値が上記上限を超えると、ビード形状が劣化するおそれがある。

【 0 0 6 1 】

〔 N a (ナトリウム) 化合物及び K (カリウム) 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤは、その他の成分として例えば N a 化合物又は K 化合物を含有してもよい。N a 化合物及び K 化合物は、アーク安定剤として、1 種又は 2 種以上のフラックスへの添加により含有させることができる。当該フラックス入りワイヤの全質量に対する N a 化合物及び K 化合物の (N a + K) 換算値の下限としては、0.01 質量% が好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 (N a + K) 換算値の上限としては、0.30 質量% が好ましい。当該フラックス入りワイヤの (N a + K) 換算値が上記下限より小さいと、アークの安定化の効果が十分に得られず、スパッタ発生量が増加するおそれがある。逆に、当該フラックス入りワイヤの (N a + K) 換算値が上記上限を超えると、ビード形状が劣化するおそれがある。

【 0 0 6 2 】

〔 A l (アルミニウム) 及び A l 化合物 〕

当該フラックス入りワイヤは、その他の成分として例えば A l 又は A l 化合物を含有してもよい。A l 又は A l 化合物は、鋼製外皮又はフラックスへの添加により含有させることができる。当該フラックス入りワイヤの全質量に対する A l 及び A l 化合物の A l 換算値としては、0 質量% 超が好ましく、A l 換算値の下限としては、0.003 質量% が好ましく、0.005 質量% がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの上記 A l 換算値の上限としては、0.30 質量% が好ましく、0.27 質量% が好ましく、0.24 質量% がより好ましい。

【 0 0 6 3 】

〔 C u (銅) 〕

当該フラックス入りワイヤは、その他の元素として例えば C u を含有してもよい。C u は、鋼製外皮又はフラックスへの添加により含有させることができる。当該フラックス入りワイヤの全質量に対する C u 含有量としては、0 質量% 超が好ましく、C u 含有量の下限としては、0.05 質量% が好ましく、0.10 質量% がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する C u 含有量の上限としては、1 質量% が好ましく、0.8 質量% がより好ましい。

【 0 0 6 4 】

〔 M g (マグネシウム) 〕

当該フラックス入りワイヤは、その他の元素として例えば M g を含有してもよい。M g は脱酸剤として必要に応じてフラックスへの添加により含有させることができる。当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M g 含有量の下限としては、0.2 質量% が好ましく、0.3 質量% がより好ましい。一方、当該フラックス入りワイヤの全質量に対する M

10

20

30

40

50

g 含有量の上限としては、0.8 質量%が好ましく、0.7 質量%がより好ましい。当該フラックス入りワイヤの Mg 含有量が上記下限より小さいと、十分な脱酸効果が得られないおそれがある。逆に、当該フラックス入りワイヤの Mg 含有量が上記上限を超えると、スパッタが増大し、溶接作業性が低下するおそれがある。

【0065】

当該フラックス入りワイヤは、全質量に対する上記 Si 換算値、Mn 及び Ti 換算値のそれぞれの含有量（質量%）を [Si]、[Mn] 及び [Ti] とした場合、溶接時に生成される粒界炭化物の形態への影響度を下記式（1）の Z2 値で規定できる。Z2 値は 62 未満であり、Z2 値の下限としては 50 である。Z2 値が上記下限より小さい、又は上記上限以上であると、溶接金属の粒界炭化物が所望の形態に形成されないおそれがある。ここで、粒界炭化物の所望の形態とは、円相当直径が 0.40 μm 以上の炭化物の平均円相当直径が 0.75 μm 以下となる形態である。

$$Z2 \text{ 値} = 3 \times [\text{Si}] + 8 \times [\text{Mn}] + 20 \times [\text{Ti}] \quad \cdots (1)$$

【0066】

また、当該フラックス入りワイヤは、全質量に対する上記 Ti 換算値、Si 換算値、Mn 及び Al 換算値のそれぞれの含有量（質量%）を [Ti]、[Si]、[Mn] 及び [Al] とした場合、溶接時に生成される酸化物の形態への影響度を下記式（2）の Z 値で規定できる。Z 値の下限としては、90 が好ましく、110 がより好ましく、130 がさらに好ましい。一方、Z 値の上限としては、220 が好ましく、210 がより好ましく、200 がさらに好ましい。Z 値が上記下限より小さいと、溶接金属内に形成される酸化物量が少なくなるためアシキュラーフェライトが生成し難くなり、低温靱性を十分に向上できないおそれがある。逆に、Z 値が上記上限を超えると、溶接金属内に形成される酸化物量が多くなり、酸化物同士が凝集して粗大な酸化物が多くなるため、溶接金属の低温靱性が却って低下するおそれがある。

$$Z \text{ 値} = 7 \times [\text{Ti}] + 150 \times [\text{Si}] + 35 \times [\text{Mn}] - 180 \times [\text{Al}] \quad \cdots (2)$$

【0067】

また、当該フラックス入りワイヤの SiO₂ の含有量（質量%）に対する金属 Si の含有量（質量%）の比の下限としては、0.90 が好ましく、0.93 がより好ましく、0.95 がさらに好ましい。一方、上記比の上限としては、3.0 が好ましく、2.5 がより好ましい。上記比が上記下限より小さいと、固溶 Si が不足して炭化物の不安定化を招き、粒界炭化物サイズが増加することで円相当直径が 0.40 μm 以上の粒界炭化物の平均円相当径を上記上限以下に保てなくなるおそれがある。逆に、上記比が上記上限を超えると、溶接時の作業性が低下するおそれがある。

【0068】

当該フラックス入りワイヤのフラックス充填率の下限としては、10 質量%が好ましく、15 質量%がより好ましい。一方、フラックス充填率の上限としては、35 質量%が好ましく、25 質量%がより好ましい。フラックス充填率が上記下限より小さいと、フラックスによる安定な溶滴移行を行うことができずアークが不安定となり、良好な溶接を行えないおそれがある。逆に、フラックス充填率が上記上限を超えると、溶融したフラックスが溶融池内で十分に攪拌され難くなり、均一な組成の溶接金属が得られ難くなるおそれがある。

【0069】

フラックス入りワイヤを用いたガスシールドアーク溶接における好ましい溶接条件は、以下の通りである。まず、入熱量の下限としては、0.7 kJ/mm が好ましく、1.0 kJ/mm がより好ましい。一方、入熱量の上限としては、2.5 kJ/mm が好ましく、2.0 kJ/mm がより好ましく、1.6 kJ/mm がさらに好ましい。入熱量が上記下限より小さいと、溶接時の施工効率が低下するおそれがある。逆に、入熱量が上記上限を超えると、溶接時の冷却速度が低下し所定の当該溶接金属の強度が得られなくなると共に、冷却途中に炭化物が生成し、この炭化物が SR 焼鈍時に成長することで所望の粒界炭

10

20

30

40

50

化物形態が得られなくなるおそれがある。その結果、S R 焼鈍後の当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

【0070】

また、上記ガスシールドアーク溶接において、予熱温度及びパス間温度の下限としては、100 が好ましく、120 がより好ましい。一方、予熱温度及びパス間温度の上限としては、180 が好ましく、160 がより好ましい。予熱温度及びパス間温度が上記下限より小さいと、低温割れが生じ易くなるおそれがある。逆に、予熱温度及びパス間温度が上記上限を超えると、溶接時の冷却速度が低下し所定の当該溶接金属の強度が得られなくなると共に、冷却途中に炭化物が生成し、この炭化物がS R 焼鈍時に成長することで所望の粒界炭化物形態が得られなくなるおそれがある。その結果、S R 焼鈍後の当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

10

【0071】

なお、S R 焼鈍温度及びS R 焼鈍時間などの焼鈍条件については、従来から行われている条件に従って行えばよいが、粒界炭化物の制御という観点から、これらの条件は下記のように設定することが好ましい。

【0072】

すなわち、S R 焼鈍温度の下限としては、580 が好ましく、600 がより好ましい。一方、S R 焼鈍温度の上限としては、680 が好ましく、650 がより好ましい。S R 焼鈍温度が上記下限より小さいと、溶接時に生じる応力を十分に除去できないおそれがある。逆に、S R 焼鈍温度が上記上限を超えると、S R 焼鈍時の粒界炭化物の粗大化が助長され所望の粒界炭化物形態が得られなくなり、その結果、S R 焼鈍後の当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

20

【0073】

S R 焼鈍時間の下限としては、2時間が好ましく、3時間がより好ましい。一方、S R 焼鈍時間の上限としては、12時間が好ましく、10時間がより好ましい。S R 焼鈍時間が上記下限より小さいと、溶接時に生じた応力を十分に除去できないおそれがある。逆に、S R 焼鈍時間が上記上限を超えると、S R 焼鈍時の粒界炭化物の粗大化が助長され所望の粒界炭化物形態が得られなくなり、その結果、S R 焼鈍後の当該溶接金属の靱性が低下するおそれがある。

【0074】

このような条件により溶接及びS R 焼鈍を行うことにより、十分な強度を有すると共に、優れた低温靱性を発揮する溶接金属を形成できる。

30

【0075】

[溶接構造体]

当該溶接構造体は、上記溶接金属を有する。例えば海底油田の掘削及び生産時に用いられる溶接構造物を製造する際、上記溶接条件で所定の部材を溶接することで上記溶接金属を有する当該溶接構造体を得られる。当該溶接構造体は、上記溶接金属を有するため、S R 焼鈍前及びS R 焼鈍後のいずれにおいても高い強度及び-40 以下での高い靱性を確保することができる。その結果、海底油田の掘削及び生産時に用いられる溶接構造物などの信頼性、耐久性などが向上する。

40

【0076】

<利点>

当該溶接金属は、焼鈍軟化を抑制する作用を有するMoを含有することで、高い強度が得られる。また、当該溶接金属は、所定量のMoと所定合計量のNb及びVとを含有することにより粒界炭化物の粗大化を抑制でき、その結果、円相当直径が0.40 μm以上の粒界炭化物の平均円相当直径を0.75 μm以下にできる。また、当該溶接金属は、上記範囲内のOを含有することで酸化物の粗大化を抑制でき、その結果、円相当直径が0.5 μm以上の酸化物の存在割合を 2.0×10^{-4} 個/mm²にできる。これらにより、当該溶接金属は、粗大な粒界炭化物又は粗大な酸化物を起点とする亀裂が発生し難く、S R 焼鈍時における靱性の低下が抑制される。また、当該溶接金属は、酸化物の存在割合を上記

50

上限以下とすることで、S R 焼鈍前の低温靱性も向上し、S R 焼鈍前後において高い強度と - 40 以下での高い靱性とが得られる。

【0077】

当該フラックス入りワイヤは、全質量に対する各元素の含有割合を上記範囲内とし、さらに溶接時に生成される粒界炭化物形態の指標である上記 Z 2 値を上記範囲内とすることで粒界炭化物の粗大化を抑制できる。

【実施例】

【0078】

以下、実施例によって本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0079】

まず、ワイヤ径 $\phi 1.2$ mm、フラックス充填率 15.5 質量%の複数のフラックス入りワイヤを作製した。具体的には、表 1 に示すように、各元素の成分量が異なる溶接材料 No. F 1 ~ No. F 30 の 30 種類のフラックス入りワイヤを作製した。なお、表 1 中の「ワイヤ成分 [%]」とは、ワイヤを構成する鋼製外皮及びフラックスが含有する各成分の合計量の鋼製外皮及びフラックスを合わせた全質量に対する割合を示している。また、表 1 中「その他」は、残部であり、Fe 及び不可避免的不純物の含有量である。また、表 1 中「-」は、その成分を含有しないことを示す。

【0080】

【表 1】

ワイヤ No.	ワイヤ成分 (質量%)														金属Si/SiO ₂	Z値	Z2値
	C	金属Si	SiO ₂	Si 換算値	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	B	Cu	Nb	V	Al	その他		
F1	0.05	0.20	0.17	0.25	2.0	1.07	0.41	0.37	3.75	0.008	-	-	0.01	0.10	92	116	60
F2	0.07	0.25	0.16	0.30	1.9	1.02	0.33	0.39	3.60	0.009	-	-	0.01	0.11	92	117	58
F3	0.05	0.25	0.24	0.32	2.0	0.98	0.47	0.28	3.75	0.005	-	-	0.01	0.11	92	124	60
F4	0.05	0.18	0.19	0.24	3.0	0.33	0.44	0.28	3.80	0.005	-	-	0.01	0.11	91	147	53
F5	0.05	0.19	0.14	0.23	2.0	0.76	0.41	0.44	3.60	0.008	-	0.01	-	0.11	92	109	57
F6	0.05	0.20	0.14	0.24	1.9	1.58	0.28	0.46	3.60	0.012	-	0.01	0.01	0.11	91	109	57
F7	0.05	0.22	0.17	0.27	1.8	1.00	0.65	0.39	3.55	0.009	-	0.01	0.01	0.11	92	110	57
F8	0.06	0.34	0.21	0.40	1.9	0.97	0.29	0.61	3.75	0.010	-	-	0.01	0.11	91	133	61
F9	0.05	0.21	0.17	0.26	1.9	0.96	0.48	0.37	3.60	0.007	-	-	0.01	0.11	92	112	57
F10	0.05	0.21	0.21	0.27	2.0	1.04	0.52	0.54	3.75	0.013	-	-	0.01	0.11	91	118	60
F11	0.05	0.20	0.14	0.24	2.0	1.00	0.47	0.48	3.60	0.008	-	-	0.01	0.11	92	113	57
F12	0.05	0.20	0.16	0.25	2.0	0.98	0.60	0.57	3.53	0.011	-	-	0.01	0.11	92	111	56
F13	0.05	0.16	0.17	0.21	1.9	0.97	0.53	0.53	3.70	0.008	-	0.02	0.02	0.11	92	104	60
F14	0.05	0.16	0.15	0.21	2.0	0.98	0.53	0.50	3.81	0.009	0.8	-	0.01	0.11	91	109	61
F15	0.05	0.18	0.14	0.22	2.0	0.98	0.46	0.44	3.75	0.010	-	-	0.01	0.11	92	110	60
F16	0.05	0.22	0.21	0.28	1.9	0.97	0.48	0.42	3.60	0.009	-	-	0.01	0.11	92	116	57
F17	0.05	0.18	0.11	0.21	2.0	0.96	0.49	0.43	3.75	0.011	-	-	0.01	0.11	92	108	60
F18	0.05	0.17	0.13	0.21	1.9	0.97	0.41	0.44	3.75	0.012	-	-	0.01	0.11	92	106	60
F19	0.05	0.18	0.12	0.22	1.9	0.98	0.53	0.47	3.60	0.011	-	0.01	-	0.11	92	105	57
F20	0.05	0.18	0.19	0.24	2.1	1.01	0.52	0.46	3.60	0.008	-	0.01	-	0.11	92	113	56
F21	0.13	0.15	0.22	0.22	2.1	0.96	0.41	0.56	3.86	0.010	-	-	0.01	0.11	91	112	61
F22	0.05	0.72	0.75	0.95	2.1	0.97	0.42	0.49	3.85	0.011	-	-	0.01	0.11	90	222	63
F23	0.05	0.16	0.16	0.21	3.6	0.76	0.18	0.29	3.74	0.004	-	0.01	0.01	0.11	91	162	47
F24	0.05	0.30	0.21	0.36	2.1	2.30	0.28	0.48	3.88	0.008	-	0.01	0.01	0.11	90	134	62
F25	0.05	0.21	0.18	0.26	2.0	0.99	1.47	0.47	3.90	0.010	-	0.01	0.01	0.11	90	118	63
F26	0.06	0.35	0.24	0.42	2.7	1.00	0.29	1.24	3.88	0.003	-	-	0.01	0.11	90	166	57
F27	0.06	0.40	0.21	0.46	2.1	1.27	0.18	0.43	3.75	0.021	-	-	0.01	0.11	91	148	60
F28	0.05	0.38	0.22	0.45	1.8	1.14	0.24	0.18	3.75	0.008	-	-	0.01	0.11	92	135	62
F29	0.05	0.16	0.13	0.20	1.9	0.97	0.41	0.44	3.60	0.010	-	0.03	0.03	0.11	92	103	57
F30	0.06	0.44	0.45	0.58	2.2	1.99	0.29	0.53	3.08	0.001	-	0.01	-	0.11	90	165	46

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

次に、母材として図 1 に示す開先形状に加工した平均板厚 20 mm の S M 4 9 0 A 鋼板を用い、ガスシールドアーク溶接で以下の溶接条件により表 2 に示す No. 1 ~ No. 30 の溶接金属を得た。すなわち、開先角度が V 字で 20°、ルート間隔が 16 mm、溶接姿勢が下向き、入熱条件が 1.6 kJ/mm、280 A - 29 V、5.1 mm/sec、予熱温度及びパス間温度が 100 以上 190 以下となる条件で、シールドガスとして流量 25 L/min の 20% CO₂ - 80% Ar 混合ガスを用い、6 層 12 パスの積層要領で上記溶接金属を作製した。さらに、上記作製した各溶接金属に対して、SR 焼鈍温度 620 以上 680 以下、SR 焼鈍時間 2 時間以上 8 時間以下の熱処理を実施した。

【0082】

< 組成含有量測定 >

試験 No. 1 ~ No. 30 について、熱処理後の開先部に形成された各溶接金属の中央部を切り出し、化学成分分析を行った。この化学分析により各溶接金属において得られた各元素の組成含有量を表 2 に示す。なお、表 2 中「-」は、その成分を含有しないことを示す。

【0083】

< 円相当直径が 0.40 μm 以上の粒界炭化物の平均円相当直径の測定 >

熱処理後の溶接金属の最終パス中央部より粒界が露出するレプリカ TEM 観察用試験片を採取し、7500 倍にて 13.3 × 15.7 μm の視野を有する画像を 4 枚撮影した。これらの画像について、画像解析ソフト (Media Cybernetics 社の「Image-Pro Plus」) により円相当直径 0.40 μm 以上の炭化物を選択した上で、粒界炭化物の平均円相当直径を算出した。具体的には、以下の方法で円相当直径が 0.40 μm 以上の粒界炭化物の平均円相当直径を求めた。

【0084】

まず、図 2 B に示すように、円相当直径にして 0.40 μm 以上の炭化物の少なくとも 3 個と交わる長さ 6 μm の直線 A_i (i = 1, 2, 3...n、n: 直線の総本数) を引いた。なお、図 2 A において、破線の円形で示した領域 B は、対象とする炭化物の大きさの基準を示すものであり、直径が 0.40 μm の真円の大きさを仮想して示したものである。また、図 2 A ~ 図 2 C において、塗りつぶした範囲 C は、円相当直径が 0.40 μm 以上の炭化物を示し、網掛けを付した範囲 D は、円相当直径が 0.40 μm 未満の炭化物を示している。なお、図 2 B の破線で示す直線は長さ 6 μm を超える直線である。このように長さ 6 μm の直線が円相当直径が 0.40 μm 以上の 2 個以下の炭化物としか交差しない直線は、上記直線 A_i に含まれない。

【0085】

次に、図 2 C に示すように、上記直線 A_i と交わる円相当直径が 0.40 μm 以上の炭化物を選定し、画像解析により平均円相当直径を算出した。図 2 C では選定した炭化物を符号 1 ~ 11 で示している。図 2 B に示す直線 A₁ は炭化物 1、2、3 と交わる直線である。同様に、直線 A₂ は炭化物 2、3、4 と交わる直線、直線 A₃ は炭化物 3、4、5 と交わる直線、直線 A₄ は炭化物 4、5、6 と交わる直線、直線 A₅ は炭化物 5、8、9 と交わる直線、直線 A₆ は炭化物 8、9、10 と交わる直線、直線 A₇ は、炭化物 9、10、11 と交わる直線、直線 A₈ は炭化物 8、6、7 と交わる直線をそれぞれ示している。この方法により算出した粒界炭化物の平均円相当直径の結果を表 2 に示す。

【0086】

なお、炭化物サイズが著しく微細であり、円相当直径にして 0.40 μm 以上の炭化物の少なくとも 3 個と交わる長さ 6 μm の直線 A_i を 1 本も引くことができない場合は、「平均円相当直径が 0.75 μm 以下」を満足するものとして評価される。

【0087】

< 円相当直径が 0.5 μm 以上の酸化物の存在割合の測定 >

試験 No. 1 ~ No. 30 の溶接金属の断面について、走査型電子顕微鏡を用いて 5000 倍で観察視野 400 μm² の範囲を 5 箇所測定し、測定した値を平均したものを 1 mm² 当たりに換算して酸化物の存在割合 [個/mm²] を算出した。この方法により算出

10

20

30

40

50

した酸化物の存在割合の結果を表 2 に示す。

【 0 0 8 8 】

< 強度評価 >

強度評価として、熱処理前後の各溶接金属について引張試験を実施した。この引張試験は、図 3 に示すように熱処理後の各溶接金属の板厚中央部より溶接線方向に平行に J I S - Z 2 2 0 2 (1 9 8 8) に準拠した試験片を採取した。この試験片について、J I S - Z 2 2 4 1 (2 0 1 1) に準拠して室温 2 5 で引張強さ (T S) を測定した。この試験について、S R 焼鈍前に引張強さ T S が 6 9 0 M P a を超えるもの、及び S R 焼鈍後に引張強さ T S が 6 2 0 M P a を超えるものを強度に優れると評価した。これらの引張強さの測定結果を表 2 に示す。なお、図 3 中で長さを表す数値の単位は m m である。

10

【 0 0 8 9 】

< 低温靱性の評価 >

低温靱性の評価は、熱処理前後の各溶接金属の板厚中央部より図 4 に基づき溶接線方向と垂直方向に、J I S - Z 3 1 1 1 (2 0 0 5) の 4 号 V ノッチ試験片をシャルピー衝撃試験片として採取した。この試験片について、J I S - Z 2 2 4 2 (2 0 0 5) に準拠して - 4 0 でシャルピー衝撃試験を実施した。この試験について、3 回の測定の平均値で、S R 焼鈍前に - 4 0 における吸収エネルギー $v E_{40}$ が 1 0 0 J を超えるもの、及び S R 焼鈍後に $v E_{40}$ が 6 0 J を超えるものを低温での靱性に優れると評価した。これらの引張強さの測定結果を表 2 に示す。なお、表 2 に示す - 4 0 での吸収エネルギー $v E_{40}$ は、3 回の測定の平均値である。

20

【 0 0 9 0 】

【表 2】

試験 No.	ワイヤ No.	組成含有量 (質量%)													SR 温度 (°C)	SR 時間 (時間)	粒界炭化物 直径 (μm)	≥0.5μm 炭化物 (×10 ³ 個/mm ²)	SR焼鈍前		SR焼鈍後		
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	B	O	N	Nb	V	Cu					Al	TS (MPa)	VE-40 (J)	TS (MPa)	VE-40 (J)
1	F1	0.05	0.17	1.50	1.05	0.35	0.33	0.053	0.0025	0.046	0.0055	-	0.01	-	-	620	8	0.55	17.2	714	124	675	85
2	F2	0.08	0.18	1.43	1.00	0.28	0.35	0.057	0.0026	0.050	0.0057	-	0.01	-	-	620	8	0.60	17.0	721	104	690	65
3	F3	0.06	0.24	1.49	0.96	0.40	0.25	0.055	0.0015	0.048	0.0062	-	0.01	-	-	620	8	0.64	18.2	721	106	681	72
4	F4	0.05	0.17	2.25	0.32	0.37	0.25	0.058	0.0016	0.048	0.0054	-	0.01	-	-	620	8	0.65	16.8	739	115	707	76
5	F5	0.06	0.17	1.47	0.74	0.35	0.40	0.055	0.0024	0.047	0.0061	0.01	-	-	-	620	8	0.70	16.0	717	123	682	88
6	F6	0.05	0.16	1.44	1.55	0.24	0.41	0.058	0.0035	0.051	0.0063	0.01	0.01	-	-	620	8	0.55	17.0	710	128	678	90
7	F7	0.05	0.21	1.38	0.98	0.55	0.35	0.060	0.0028	0.050	0.0068	0.01	0.01	-	-	620	8	0.54	17.0	761	104	726	73
8	F8	0.06	0.26	1.41	0.95	0.25	0.55	0.060	0.0030	0.048	0.0058	-	0.01	-	-	620	8	0.53	18.1	770	107	735	74
9	F9	0.06	0.20	1.44	0.94	0.41	0.35	0.072	0.0020	0.046	0.0054	-	0.01	-	-	620	8	0.56	16.2	750	121	715	81
10	F10	0.06	0.19	1.50	1.02	0.44	0.49	0.050	0.0038	0.050	0.0055	-	0.01	-	-	620	8	0.62	17.9	770	122	738	84
11	F11	0.06	0.18	1.52	0.98	0.40	0.43	0.055	0.0025	0.078	0.0055	-	0.01	-	-	620	8	0.60	14.8	692	123	652	90
12	F12	0.06	0.17	1.47	0.96	0.51	0.51	0.048	0.0033	0.049	0.0075	-	0.01	-	-	620	8	0.55	15.2	789	125	750	88
13	F13	0.06	0.15	1.41	0.95	0.45	0.48	0.050	0.0024	0.050	0.0055	0.02	0.02	-	-	620	8	0.70	18.2	748	108	715	78
14	F14	0.05	0.16	1.52	0.96	0.45	0.45	0.049	0.0026	0.049	0.0062	-	0.01	0.80	-	620	8	0.65	17.9	754	118	721	80
15	F15	0.06	0.16	1.49	0.96	0.39	0.40	0.047	0.0030	0.048	0.0058	-	0.01	-	0.005	620	8	0.60	17.7	727	126	690	89
16	F16	0.06	0.18	1.46	0.95	0.41	0.38	0.056	0.0028	0.052	0.0059	-	0.01	-	-	620	8	0.62	15.0	727	131	690	91
17	F17	0.06	0.15	1.48	0.94	0.42	0.39	0.056	0.0033	0.050	0.0057	-	0.01	-	-	620	8	0.64	17.5	734	111	696	80
18	F18	0.05	0.14	1.45	0.95	0.35	0.40	0.058	0.0035	0.049	0.0055	-	0.01	-	-	620	8	0.63	16.7	708	114	675	79
19	F19	0.06	0.16	1.44	0.96	0.45	0.42	0.050	0.0033	0.047	0.0054	0.01	-	-	-	620	8	0.58	17.0	750	111	711	80
20	F20	0.05	0.17	1.54	0.99	0.44	0.41	0.055	0.0025	0.048	0.0058	0.01	-	-	-	620	8	0.58	15.2	753	118	723	80
21	F21	0.11	0.16	1.54	0.94	0.35	0.50	0.058	0.0029	0.052	0.0056	-	0.01	-	-	620	8	0.78	18.8	852	92	813	55
22	F22	0.06	0.65	1.56	0.95	0.36	0.44	0.074	0.0033	0.049	0.0072	-	0.01	-	-	620	8	0.51	24.5	895	85	863	50
23	F23	0.06	0.14	2.67	0.74	0.15	0.26	0.048	0.0012	0.053	0.0048	0.01	0.01	-	-	650	5	0.60	22.4	743	85	707	45
24	F24	0.06	0.21	1.55	2.25	0.24	0.43	0.060	0.0024	0.050	0.0057	0.01	0.01	-	-	620	8	0.55	21.0	803	86	768	50
25	F25	0.06	0.16	1.51	0.97	1.25	0.42	0.065	0.0030	0.051	0.0054	0.01	0.01	-	-	620	8	0.58	22.1	984	83	945	45
26	F26	0.07	0.31	2.05	0.98	0.25	1.12	0.061	0.0008	0.052	0.0047	-	0.01	-	-	650	5	0.57	16.8	1024	78	985	43
27	F27	0.07	0.33	1.55	1.24	0.15	0.39	0.062	0.0053	0.049	0.0054	-	0.01	-	-	680	2	0.68	20.0	763	86	732	50
28	F28	0.06	0.32	1.32	1.12	0.20	0.16	0.058	0.0025	0.033	0.0050	-	0.01	-	0.015	620	8	0.57	23.4	695	81	663	49
29	F29	0.06	0.15	1.45	0.95	0.35	0.40	0.058	0.0031	0.055	0.0055	0.03	0.03	-	-	620	8	0.65	15.0	700	76	665	40
30	F30	0.07	0.20	1.65	1.95	0.25	0.48	0.051	0.0003	0.058	0.0055	0.01	-	-	0.005	620	8	0.62	24.3	777	106	745	50

< 測定結果 >

表 1 及び表 2 の結果より、本発明の各成分の含有量の範囲を満たす No. F 1 ~ No. F 2 0 のフラックス入りワイヤを用いて形成した No. 1 ~ No. 2 0 の溶接金属は、本発明の組成成分の範囲を満たしていることがわかる。また、これらの No. 1 ~ No. 2 0 の溶接金属は、粒界における炭化物の形態及び断面における酸化物の存在量が本発明の規定を満たしており、SR 焼鈍前における引張強さ TS が 6 9 0 M P a を超え、吸収エネルギー $v E_{40}$ が 1 0 0 J を超えており、かつ SR 焼鈍後における引張強さ TS が 6 2 0 M P a を超え、吸収エネルギー $v E_{40}$ が 6 0 J を超えている。これより、No. 1 ~ No. 2 0 の溶接金属は、SR 焼鈍前後において、高い強度及び -40 以下での高い靱性が得られることがわかる。

10

【 0 0 9 2 】

これに対し、いずれかの成分が本発明の含有量の範囲を満たしていない No. F 2 1 ~ No. F 3 0 のフラックス入りワイヤを用いて形成した No. 2 1 ~ No. 3 0 の溶接金属は、組成成分の範囲、粒界における炭化物の形態及び断面における酸化物の存在量のうち少なくともいずれかが本発明の規定を満たしていない。また、No. 2 1 ~ No. 2 9 の溶接金属は、SR 焼鈍前における吸収エネルギー $v E_{40}$ が 1 0 0 J 以下であり、No. 2 1 ~ No. 3 0 の溶接金属は、SR 焼鈍後における吸収エネルギー $v E_{40}$ が 6 0 J 以下であり、SR 焼鈍前及び SR 焼鈍後の少なくともいずれかにおいて、 -40 以下の十分な靱性が得られないことがわかる。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 9 3 】

以上説明したように、当該溶接金属、溶接構造体及びフラックス入りワイヤは、フラックス入りワイヤを用いるガスシールドアーク溶接で、SR 焼鈍前及び SR 焼鈍後において共に高い強度及び -40 以下での高い靱性が得られるので、寒冷地での海底油田の掘削及び生産時に建造される海洋構造物等に好適に用いることができる。

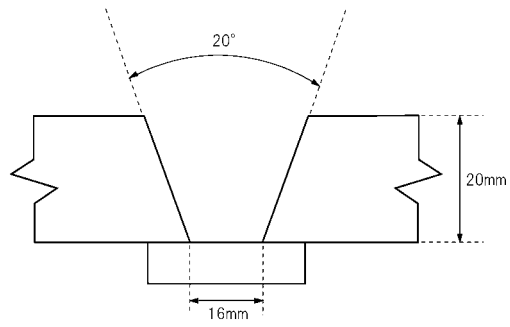
【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

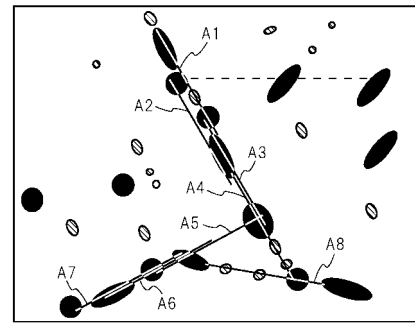
- 1 ~ 1 1 炭化物
- A 1 ~ A 8 直線
- B 直径 0 . 4 0 μm の真円
- C 円相当直径が 0 . 4 0 μm 以上の炭化物
- D 円相当直径が 0 . 4 0 μm 未満の炭化物

30

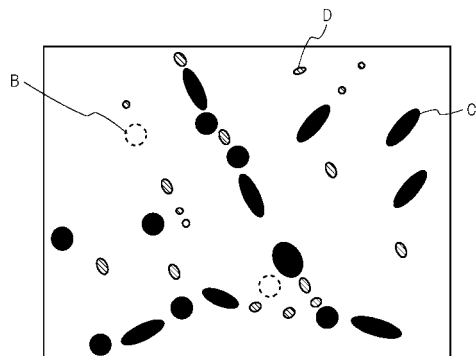
【図 1】



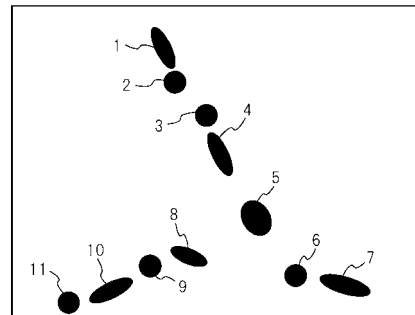
【図 2 B】



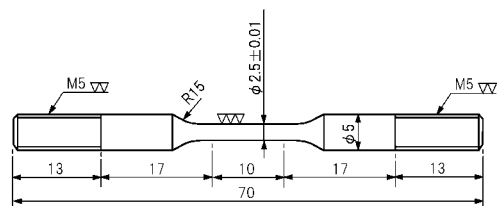
【図 2 A】



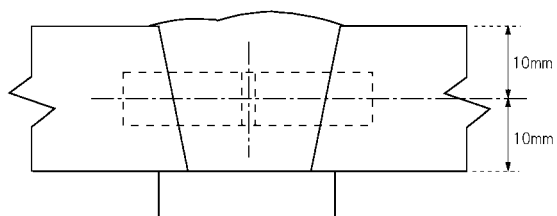
【図 2 C】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(74)代理人 100187768

弁理士 藤中 賢一

(72)発明者 岡崎 喜臣

兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内

(72)発明者 川崎 浩之

神奈川県藤沢市宮前 1 0 0 番 1 株式会社神戸製鋼所 藤沢事業所内

(72)発明者 韓 鵬

神奈川県藤沢市宮前 1 0 0 番 1 株式会社神戸製鋼所 藤沢事業所内

F ターム(参考) 4E084 AA03 BA02 BA03 BA04 BA05 BA06 BA08 BA09 BA11 BA12

BA13 BA14 BA16 BA29 CA03 CA05 DA10 EA06 FA11