

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3758040号
(P3758040)

(45) 発行日 平成18年3月22日(2006.3.22)

(24) 登録日 平成18年1月13日(2006.1.13)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 3 K 35/368 (2006.01)	B 2 3 K 35/368 B
B 2 3 K 35/30 (2006.01)	B 2 3 K 35/30 A

請求項の数 4 (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2002-218236 (P2002-218236)	(73) 特許権者	000001199
(22) 出願日	平成14年7月26日(2002.7.26)		株式会社神戸製鋼所
(65) 公開番号	特開2004-58086 (P2004-58086A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番2
(43) 公開日	平成16年2月26日(2004.2.26)		6号
審査請求日	平成16年9月22日(2004.9.22)	(74) 代理人	100090158
			弁理士 藤巻 正憲
		(72) 発明者	原 則行
			神奈川県藤沢市宮前字裏河内100番1
			株式会社神戸製鋼所藤沢事業所内
		(72) 発明者	後藤 明信
			神奈川県藤沢市宮前字裏河内100番1
			株式会社神戸製鋼所藤沢事業所内
		(72) 発明者	畑野 等
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

鋼製外皮にフラックスを充填してなる低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいて、ワイヤ全質量あたり、

C : 0.20 質量%以下、Si : 0.06 乃至 1.10 質量%、Mn : 0.55 乃至 1.60 質量%、Cr : 2.60 質量%以下、Mo : 0.30 乃至 1.50 質量%、Mg : 0.20 乃至 1.50 質量%、N : 0.005 乃至 0.035 質量% 及び B : 0.001 乃至 0.020 質量% を含有し、前記フラックス中にワイヤ全質量あたり、TiO₂ : 4.2 乃至 8.2 質量% 及び 弗素化合物 (但し、F に換算した値) : 0.025 乃至 0.55 質量% を含有し、更に、ワイヤ全質量あたり、Al が 0.50 質量% 以下、Nb が 0.015 質量% 以下、V が 0.015 質量% 以下に規制されていることを特徴とする低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【請求項2】

前記 Mn 含有量は 0.55 乃至 1.45 質量% であることを特徴とする請求項1 に記載の低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【請求項3】

更に、ワイヤ全質量あたり、Ti : 0.005 乃至 0.3 質量% 及び Zr : 0.002 乃至 0.3 質量% からなる群から選択された少なくとも1種を含有することを特徴とする請求項1 又は2 に記載の低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【請求項4】

10

20

更に、ワイヤ全質量あたり、Total Ti / Nの値：250乃至500を満たすことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、原子力、火力発電及び石油精製等の各種プラントに使用される低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤに関し、特に、長時間且つ高温条件下での溶接後熱処理（以下、Post Weld Heat Treatment：P W H Tという）を受けてもフェライトバンドの発生が少ないか、又は完全に抑制され、これにより、溶接金属の引張強度及び靱性が優れており、更に溶接作業性が優れた低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤに関する。

10

【0002】

【従来の技術】

ガスシールドアーク溶接用ワイヤには、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤとがあり、フラックス入りワイヤは、ソリッドワイヤに比較してスパッタが少ないこと、ビード外観及びビード形状が良好であること、更に下向姿勢のみならず立向及び上向姿勢においても溶接作業性が良好であるといった種々の長所を有している。このため、低合金耐熱鋼の分野においてもフラックス入りワイヤの適用が進みつつある。

【0003】

20

低合金耐熱鋼が使用される溶接構造物は、高温高圧で使用されるため、低合金耐熱鋼のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤに対しては、そのような使用環境に対応し得る諸特性が要求される。更に、低合金耐熱鋼の溶接部は、溶接部の溶接残留応力及び残留水素の除去並びに機械的性質の改善等を目的として、通常、溶接部に対して何らかのP W H Tが実施される。従って、このような目的で施されるP W H Tに伴う溶接部の性能劣化を防止し得る性能を有する低合金耐熱鋼のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが要求される。

【0004】

しかしながら、従来の低合金耐熱鋼のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを使用した場合には、長時間、高温のP W H Tを行った際に、溶接金属中に所謂フェライトバンドが発生して機械的性能が劣化するという問題点がある。具体的には、フェライトバンドの発生により溶接金属の引張強度が劣化するという問題がある。そして、フェライトバンドの発生原因は、溶接金属の凝固過程における成分偏析とP W H T中における溶接金属中の炭素移動とに起因すると考えられている。

30

【0005】

これに対して、従来、いくつかの解決策が提案されている。例えば、特公平8 - 13432号公報には、強力な炭化物形成元素であるNb及びVを同時に添加することにより、溶接金属中の炭素移動を抑制してフェライトバンドの発生を抑制する技術が開示されている（以下、従来技術1という）。また、本発明者等は先に特開2001 - 314996号公報において、アークの安定性向上が溶接金属の合金成分の偏析を低減させてフェライトバンドの形成を抑制し、溶接金属の機械的性質を向上させ得るという知見に基づき、チタニヤ系フラックス入りワイヤにおいて、TiO₂、アルカリ金属化合物及び弗化物の各含有量をコントロールすることによりフェライトバンドの形成の抑制を図る技術を提案した（以下、従来技術2という）。一方、溶接金属の靱性の改善を図る技術として、特開昭57 - 4397号公報及び特公昭62 - 19959号公報には、ワイヤ中にNを適切量含有させた技術が開示されている（以下、従来技術3という）。更に、特公平2 - 42313号公報及び特公平3 - 3558号公報には、靱性を劣化させる原因が溶接金属中のTiにあることに着目して、TiO₂及び金属Tiの各含有量を両者間の所制限条件下において規定するか、又はTiO₂及び金属Tiの各含有量を両者間の所制限条件下において規定し更にN含有量を適切な範囲に規定することにより、Tiの供給源であるフラックス中

40

50

の TiO_2 及びワイヤ全量あたりの Ti 含有量を極力抑えたジルコニヤ系フラックス入りワイヤが開示されている（以下、従来技術 4 という）。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来技術 1 では、 Nb 及び V 添加による炭素移動の抑制によりフェライトバンドの発生防止に効果はあるが、その反面 Nb 及び V は溶接金属の靱性を著しく劣化させる元素であるために、靱性の確保という点において不十分である。また、従来技術 2 は、一層高度な靱性の要求に対して十分に応えることは困難である。一方、従来技術 3 には、フェライトバンドの発生防止に関する技術は開示されていず、良好な靱性確保とフェライトバンドの発生防止乃至抑制技術は記載されていない。また、従来技術 4 は、ジルコニヤ系フラックス入りワイヤであるため、チタニヤ系フラックス入りワイヤと比較して、立向及び上向姿勢での溶接作業性が劣る。

10

【0007】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、溶接作業性が良好であって、長時間、高温の PWH T を受けても溶接金属にフェライトバンドの発生が少なく、靱性が優れた溶接金属が得られる低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、鋼製外皮にフラックスを充填してなる低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいて、ワイヤ全質量あたり、 C : 0.20 質量%以下、 Si : 0.06 乃至 1.10 質量%、 Mn : 0.55 乃至 1.60 質量%、 Cr : 2.60 質量%以下、 Mo : 0.30 乃至 1.50 質量%、 Mg : 0.20 乃至 1.50 質量%、 N : 0.005 乃至 0.035 質量%及び B : 0.001 乃至 0.020 質量%を含有し、前記フラックス中にワイヤ全質量あたり、 TiO_2 : 4.2 乃至 8.2 質量%及び弗素化合物（但し、 F に換算した値） : 0.025 乃至 0.55 質量%を含有し、更に、ワイヤ全質量あたり、 Al が 0.50 質量%以下、 Nb が 0.015 質量%以下、 V が 0.015 質量%以下に規制されていることを特徴とする。

20

【0009】

この低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいて、前記 Mn 含有量が 0.55 乃至 1.45 質量%であることが好ましい。また、ワイヤ全質量あたり、 Ti : 0.005 乃至 0.3 質量%及び Zr : 0.002 乃至 0.3 質量%からなる群から選択された少なくとも 1 種を含有することが好ましい。更に、本発明のワイヤにおいては、ワイヤ全質量あたり、 $Total Ti / N$ の値が 250 乃至 500 を満たすことが一層好ましい。

30

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤについて詳細に説明する。

40

【0011】

本願発明者等は、前記課題を解決するため鋭意試験・研究を重ねた。先ず、低合金耐熱鋼に属する 1.25% Cr - 0.5% Mo 鋼用の従来品チタニヤ系フラックス入りワイヤに種々の水準量の Nb 及び V を添加し、得られた夫々のフラックス入りワイヤを使用して 1.25% Cr - 0.5% Mo 鋼を溶接し、得られた溶接金属について、長時間、高温の PWH T を実施した後、詳細なミクロ組織観察を行なった。PWH T は 690 で 9.5 時間加熱保持した後、炉冷とした。このミクロ観察の結果、溶接金属の粒内と粒界とに、 Nb 及び V の他に、 TiO_2 が還元されて生成した Ti をも含有する種々の析出物の存在が認められ、これらの析出物によるピニング効果（原子・粒界の移動を阻止し、現在の状態に固定化する効果）によって、粒界の移動が固定され、その結果フェライトバンドの形成

50

が抑制されていることを知見した。即ち、Nb及びV又はVを溶接金属中へ添加してNb及びV又はVの炭化物を析出させ、PWH T中におけるC原子の移動を抑えることにより、フェライトバンドの形成を抑制するという従来の方法以外に、Ti等を含む種々の析出物によるピニング効果により、PWH T中における粒界の移動を抑えることにより、フェライトバンドの形成を抑制することができることを知見した。更に、本発明においては、ピニング材としての上記Tiの供給源として、チタニヤ系フラックス入りワイヤを使用し、溶接金属中に不可避的に含有され、TiO₂の還元により生成するTiを利用し、このTiをNと結合させてTiNの析出物を生成するために積極的に活用する。

【0012】

本発明は、上述した知見及び着想に基づき、完成されたものであって、本発明の目的を達成するためには、下記事項を実施することが少なくとも必要である。 10

【0013】

1 フェライトバンドの形成を効果的に抑制するために、Si、Mn、Mg及び弗素化合物を適切量溶接金属に添加して、TiO₂の還元を促進すると共に、溶接金属にNを適切量添加して、TiO₂からの還元生成TiをTiNとして析出させること、

2 溶接部の靱性向上を図るために、溶接部に適切量のBを添加して、ミクロ組織の微細化を図ると共に、Nb及びVがPWH T中に針状炭化物となって析出して、溶接部の靱性劣化を起させないために、Nb及びVの添加量を夫々規制すると共に、溶接金属の硬化及び脆化による靱性劣化を起させないために、Alの添加量を規制すること、そして、

3 良好な溶接作業性を確保するために、TiO₂及び弗素化合物等のアーク安定剤の添加量の適切化、良好なスラグの粘性保持並びにスパッタ発生を防止することができるように、フラックス入りワイヤ中の成分組成を設計すること。 20

【0014】

以下に、本発明に係る低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤの成分組成の限定理由について説明する。なお、本発明のフラックス入りワイヤの成分の含有量は、いずれもワイヤ全質量当たりの含有量である。

【0015】

「C含有量：0.20質量%以下」

Cは焼入れ性を高めて、溶接金属の引張強度及び靱性を向上させる効果を有する。このため、鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。しかし、Cの含有量が0.20質量%を超えると、溶接金属の引張強度が過度に大きくなり、靱性が著しく低下する上、高温割れを引き起こす。従って、Cの含有量は0.20質量%以下とする。なお、Cをフラックスに含有させる場合は、グラファイト、クロムカーバイト、Si-C、高C-Fe-Mn又は高C-Fe-Cr等のC単体又は合金類を使用する。 30

【0016】

「Si含有量：0.06乃至1.10質量%」

Siは溶接金属の脱酸剤として作用する。また、Siは溶接金属の粘性を高めて、ビード形状を整える効果を有する。更に、TiO₂の還元反応の促進及びBの溶接金属中への歩留を安定化させる効果を有する。これらの目的のために、鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方にSiを含有させる。しかし、Siの含有量が0.06質量%未満では十分な脱酸効果が得られず、ブローホールが発生し易くなる上、溶接金属の粘性が不足して、ビード形状が劣化する。更に、TiO₂の還元作用が不足して、フェライトバンドの形成抑制に寄与するTiNの量を確保することができない。また、Bの溶接金属中への歩留が低下して、ミクロ組織の微細化を図ることができず、靱性が低下する。一方、Siの含有量が1.10質量%を超えると、引張強度が過度に大きくなる上、TiO₂の還元量が過剰となり、固溶Tiの量が増加して靱性が劣化する。従って、Siの含有量は0.06乃至1.10質量%とする。なお、Siをフラックスに含有させる場合は、Fe-Si、Fe-Si-Mn又はFe-Si-Cr等の合金類を使用する。 40

【0017】

「Mn含有量：0.55乃至1.60質量%、好ましくは0.55乃至1.45質量%」 50

Mnは溶接金属の脱酸剤として作用すると共に、溶接金属の焼入れ性を高めて、引張強度及び靱性を向上させる効果を有する。また、Siと同様に、TiO₂の還元反応の促進及びBの溶接金属中への歩留を安定化させる効果を有する。これらの目的のために、鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方にMnを含有させる。しかし、Mnの含有量が0.55質量%未満では十分な脱酸効果が得られず、ブローホールが発生し易くなる上、十分な引張強度が得られない。更に、TiO₂の還元作用が不足して、フェライトバンドの形成抑制に寄与するTiNの量を確保することができない。また、Bの溶接金属中への歩留が低下して、ミクロ組織の微細化を図ることができず、靱性が低下する。一方、Mnの含有量が1.60質量%を超えると、溶接金属の溶融金属の流動性が過度に大きくなり、立向及び上向溶接姿勢でのビード形状が著しく劣化する。また、引張強度が過度に大きくなる上、TiO₂の還元量が過剰となり、固溶Tiの量が増加して靱性が劣化する。従って、Mnの含有量は0.55乃至1.60質量%とする。なお、Mn含有量を1.45質量%以下とすることにより、ビード形状が一層良好となり好ましい。以上の目的のために、Mnをフラックスに含有させる場合は、金属Mn、Fe-Mn又はFe-Si-Mn等の金属単体又は合金類を使用する。

10

【0018】

「Cr含有量：2.60質量%以下」

Crは低合金耐熱鋼の主要成分であり、溶接金属の引張強度を向上させる効果を有する。この効果を得る目的のために、Crを鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。なお、Crの含有量は被溶接物の材質に応じて適宜調整する。一方、Crの含有量が2.60質量%を超えると、引張強度が過度に大きくなり、靱性が低下する。従って、Crの含有量は2.60質量%以下とする。なお、Crをフラックスに含有させる場合は、Fe-Cr又は金属Cr等の合金類又は金属単体を使用する。

20

【0019】

「Mo含有量：0.30乃至1.50質量%」

MoはCrと同様に、低合金耐熱鋼の主要成分であり、溶接金属の引張強度を向上させる効果を有する。Moは特に溶接金属の焼戻し軟化抵抗を高め、PWH Tによる引張強度低下を抑制する効果を有する。これらの効果を得る目的のために、Moを鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。なお、Moの含有量は被溶接物の材質に応じて適宜調整する。しかし、Moの含有量が0.30質量%未満では十分な引張強度が得られない。一方、Moの含有量が1.50質量%を超えると、引張強度が過度に大きくなり、靱性が低下する。従って、Moの含有量は0.30乃至1.50質量%とする。なお、Moをフラックスに含有させる場合は、Fe-Mo又は金属Mo等の合金類又は金属単体を使用する。

30

【0020】

「Mg含有量：0.20乃至1.50質量%」

Mgは溶接金属の強力な脱酸剤として作用し、靱性の向上を目的として含有させる。これらの作用・効果を得る目的のために、Mgはフラックスに含有させることが好ましい。更に、MgはSi及びMnと同様に、TiO₂の還元反応の促進及びBの溶接金属中への歩留を安定化させる効果を有する。これらの目的のために、鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方にMgを含有させる。しかし、Mgの含有量が0.20質量%未満では十分な脱酸効果が得られず、ブローホールが発生し易くなる上、酸素量が増加して靱性が低下する。また、TiO₂の還元作用が不足して、フェライトバンドの形成抑制に寄与するTiNの量を確保することができない。更に、Bの溶接金属中への歩留が低下して、ミクロ組織の微細化を図ることができず、靱性が低下する。一方、Mgの含有量が1.50質量%を超えると、スパッタの発生量が増加すると共に、スラグの被包性が損なわれて、立向及び上向溶接姿勢でのビード形状が劣化する。また、TiO₂の還元量が過剰となり、固溶Tiの量が増加して靱性が劣化する。従って、Mgの含有量は0.20乃至1.50質量%とする。なお、Mg源としては、金属Mg、Si-Mg又はNi-Mg等の金属単体又は合金類を使用する。

40

50

【0021】

「N含有量：0.005乃至0.035質量%」

NはTiと結合して窒化物TiNとなって析出することにより、溶接金属中でのフェライトバンドの形成を抑制する効果を有する。また、固溶Tiを窒化物として固定することにより靱性を向上させる効果も有する。この効果を得るために、Nを鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。しかし、Nの含有量が0.005質量%未満では窒化物の析出量が不足してフェライトバンドの形成を抑制する効果が得られないと共に、固溶Tiを低減することができず、靱性が劣化する。一方、Nの含有量が0.035質量%を超えると、固溶N量が増加して靱性が劣化する上、過剰なNがブローホールの発生原因となり、またスラグ剥離性の劣化原因となる。従って、Nの含有量は0.005乃至

10

【0022】

「B含有量：0.001乃至0.020質量%」

Bは溶接金属のミクロ組織を微細化して、靱性を向上させる効果を有する。この効果を得るために、Bは鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。しかし、Bの含有量が0.001質量%未満では靱性向上の十分な効果が得られない。一方、Bの含有量が0.020質量%を超えると、溶接金属に高温割れの発生を引き起こす。従って、Bの含有量は0.001乃至0.020質量%とする。なお、以上の目的のために、Bをフラックスに含有させる場合には、Fe-B若しくはFe-Si-B等の合金類又はB

20

【0023】

「TiO₂含有量：4.2乃至8.2質量%」

TiO₂はスラグ形成剤の主要成分であり、またアーク安定剤として作用する。更に、TiO₂の一部はSi、Mn及びMg並びに次に述べる弗素化合物により還元されて生成したTiがNと結合してTiNとなって溶接金属中に析出し、フェライトバンドの形成の抑制に極めて有効に作用する。TiO₂はスラグ形成剤の主要成分であること、及び、上記TiO₂の一部の還元反応は、アーク中の高温雰囲気下において行われ易いので、TiO₂の還元反応を促進させることのためにフラックスに含有させる。しかし、TiO₂の含有量が4.2質量%未満ではアークの安定性が損なわれて、溶接作業性が実用に耐えられなくなる上、還元生成するTiの量が少なくなるので、TiNの析出量も少なくなり、フェライトバンドの形成抑制効果が不十分となる。一方、TiO₂含有量が8.2質量%を超えると、スラグの粘性が極めて大きくなり、スラグ巻き込み等の溶接欠陥の原因となる上、スラグ巻き込みにより溶接金属の酸素量が増加して靱性が劣化する。従って、TiO₂の含有量は4.2乃至8.2質量%とする。

30

【0024】

「弗素化合物（但し、F換算値）含有量：0.025乃至0.55質量%」

弗素化合物は、アーク安定剤として作用する。また、弗素化合物は、溶融スラグの融点を下げる作用を有し、その流動性及び被包性を向上させて、ビード形状を整える効果を有する。更に、弗素化合物は、アーク中で解離してガス化した弗素ガスが溶融金属の攪拌を促進するので、溶融金属中からのスラグの浮上・分離を促進し、溶接金属の酸素量を低減させる効果を有する。更に、前述したSi、Mn及びMgと同様に、TiO₂の還元促進作用により生成したTiとNとの結合により溶接金属中にTiNを析出させて、フェライトバンドの形成の抑制効果があり、またBの溶接金属中への歩留を安定化させる効果を有する。弗素化合物はスラグ形成剤の一部であること、及び、上記TiO₂の一部の還元反応は、アーク中の高温雰囲気下において行われ易いので、TiO₂の還元反応を促進させることのためにフラックスに含有させる。この弗素化合物の含有量は、F換算値で0.025質量%未満では、上述した効果が得られず、アークの安定性が損なわれて、スパッタ発生量が増大すると共に、ビード形状が劣化する。また、溶接金属中の酸素量の低減効果が

40

50

不十分となって、ブローホールが発生し易くなる上、Bの溶接金属中への歩留が低下してミクロ組織の微細化を図ることができず、靱性が低下する。更に、 TiO_2 の還元が不十分となり、還元生成するTiの量が少なくなるので、 TiN の析出量も少なくなり、フェライトバンドの形成抑制効果が不十分となる。一方、弗素化合物のF換算値の含有量が0.55質量%を超えると、スラグの流動性が過大となり、スラグの被包性が損なわれてビード形状が著しく劣化する。従って、弗素化合物の含有量は、F換算値で0.025乃至0.55質量%とする。なお、弗素化合物としては、 LiF 、 NaF 、 K_2SiF_6 、 CaF_2 、 MgF_2 、 BaF_2 若しくは CeF_3 又は CF_2 を含有する弗素油等を使用する。なお、 CF_2 を含有する弗素油は、潤滑剤としてワイヤの表面にコーティングしてもよい。

10

【0025】

「Al含有量：0.50質量%以下」

Alは溶接金属の脱酸剤として作用するので、溶接ビードのブローホールの発生を防止する効果を有し、また溶滴の移行形態をスプレー化する作用を有する。上記作用・効果を得るために、Alは鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。しかし、Alの含有量が0.50質量%を超えると、溶接金属が硬化すると共に脆化するため、引張強度が過度に大きくなり靱性が著しく劣化する。従って、Alの含有量は0.50質量%以下とする。なお、Alが Al_2O_3 の形態で存在しても高温のアーク中で解離すると考えられるので、 Al_2O_3 についてはAl換算値とする。

【0026】

「Nb：0.015質量%以下」

Nbは溶接金属中へ添加して、Nbの炭化物を析出させ、この析出物によって、PWHT中におけるC原子の移動を抑えることにより、フェライトバンドの形成を抑制するという効果を有する。しかしながら、NbはPWHTを受けることにより、Cと結合して針状の微細炭化物を形成するが、ワイヤ中のNbの含有量が0.015質量%を超えると、この針状炭化物は溶接金属の靱性を著しく劣化させる。従って、鋼製外皮及びフラックスの全質量あたり、Nb含有量（但し、Nb酸化物についてはNb換算値）を0.015質量%以下に規制する。

20

【0027】

「V：0.015質量%以下」

VはNbと同様に、溶接金属中へ添加して、Vの炭化物を析出させ、この析出物によって、PWHT中におけるC原子の移動を抑えることにより、フェライトバンドの形成を抑制するという効果を有する。しかしながら、VはPWHTを受けることにより、Cと結合して針状の微細炭化物を形成するが、ワイヤ中のVの含有量が0.015質量%を超えると、この針状炭化物は溶接金属の靱性を著しく劣化させる。従って、鋼製外皮及びフラックスの全質量あたり、V含有量（但し、V酸化物についてはV換算値）を0.015質量%以下に規制する。

30

【0028】

「Ti：0.005乃至0.3質量%」

Tiは溶接金属の脱酸剤として作用して、その靱性を向上させる効果を有する。また、Tiはフェライトバンドの形成抑制に効果的な窒化物 TiN の形成元素として作用する。従って、一層の溶接金属の靱性向上及びフェライトバンドの形成抑制を図るためには、適切量のTiをワイヤに含有させることが好ましい。上記作用・効果を得る目的で、鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方にTiを含有させる。この際、ワイヤ中のTiの含有形態として、鋼製外皮に含有させるTi分は酸可溶Tiの形態で含有させ、フラックスに含有させるTi分は金属Ti又は $Fe-Ti$ 等の金属単体又は合金類の形態で含有させる。このような含有形態のTiは、 TiO_2 の還元生成物として得られるTiとは異なり、ワイヤ中の脱酸剤であるSi、Mn及びMg等、Ti以外の脱酸剤による還元を受けることなく溶融金属に添加することができ、従って、また歩留良く安定して添加することができるからである。なお、 TiO_2 中のTiは、酸不溶Tiに属する。しかし、Tiの

40

50

含有量が0.005質量%未満では靱性の一層の向上効果は得られない。一方、Tiの含有量が0.3質量%を超えると、引張強度が過度に大きくなる上に、固溶Ti量が増加して靱性が劣化する。従って、Tiの含有量は0.005乃至に0.3質量%とする。

【0029】

「Zr：0.002乃至0.3質量%」

Zrは溶接金属の脱酸剤として作用して、その靱性を向上させる効果を有する。Zrをワイヤ中に含有させることにより、溶接金属の靱性を付加的に向上させることができる。従って、一層の靱性向上を図るためには、適切量のZrをワイヤに含有させることが好ましい。この効果を得る目的で、Zrは鋼製外皮又はフラックスのいずれか一方又は両方に含有させる。しかし、Zrの含有量が0.002質量%未満では靱性の一層の向上効果は得られない。一方、Zrの含有量が0.3質量%を超えても特段の効果は認められない。従って、Zrの含有量は0.002乃至0.3質量%とする。なお、Zrをフラックスに含有させる場合には、金属Zr、Fe-Zr又はFe-Si-Zr等の金属単体又は合金類を使用する。

10

【0030】

ワイヤ中の上記Ti又はZrの含有は、相互に独立的に作用・効果を発揮するので、本発明に係るフラックス入りワイヤ中にTi及びZrのうちいずれか一方のみを含有させても、一層好ましいし、また両方を含有させれば更に一層好ましい。

【0031】

「Total Ti含有量/N含有量の値：250乃至500」

20

ワイヤ全質量あたりのTotal Ti含有量、即ちTiO₂中のTiと適宜含有させる鋼製外皮及び/又はフラックス中の全Tiとの合計含有量と、ワイヤ全質量あたりのNとの比であるTotal Ti含有量/N含有量の値が、250乃至500となるように、各成分の含有量を調整することによって、溶接金属中の固溶Ti及び固溶Nの両者が共に低減され、より一層の靱性向上が達成される。

【0032】

なお、本発明に係る低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいては、上記成分組成を満足すれば目的とするフラックス入りワイヤが得られるので、ワイヤ全質量あたりのスラグ造滓剤（又はスラグ形成剤）の含有量（総含有量）及びその成分組成は特に規定しない。ここで、スラグ造滓剤とは、非金属成分を含有し、ガスシールドアーク溶接において熔融金属を溶接部の外部雰囲気から保護し被覆するための源となる成分を指す。具体的には、前述したワイヤの成分組成のうち含有量が限定されている成分又はこの成分の構成成分の一部であるTiO₂、弗素化合物、Al₂O₃、Bの酸化物、Nbの酸化物及びVの酸化物、スラグ塩基度の調整又はスラグの融点、粘性及び流動性の微調整のために使用するZrO₂、SiO₂、CaO及びMgO、並びに、アーク状態の微調整のために使用するK₂O及びNa₂O等である。

30

【0033】

本発明に係るフラックス入りワイヤのフラックス充填率は、特に規定しないが、ワイヤの生産性、例えば成型及び伸線時の断線等を考慮して適宜設定することができる。フラックス充填率として、例えば11.0乃至18.0質量%が好ましい。

40

【0034】

また、シールドガスとしては、100%CO₂ガスの他、ArガスとCO₂ガスとの混合ガス、ArガスとO₂ガスとの混合ガス、並びに、ArガスとCO₂ガスとO₂ガスとの3種混合ガス等いずれでもよく、またいずれの組成も使用可能である。また、鋼製外皮は被溶接材の成分組成に応じて選定することが好ましく、軟鋼又は合金鋼を使用することができる。一方、ワイヤの断面形状は特に規定する必要はなく、合わせ目があってもなくてもいずれでもよい。

【0035】

更に、本発明に係るフラックス入りワイヤには、被溶接物の要求性能に応じて、上記以外の成分として、例えばCu、Ni、Co及びW等を適宜含有させることができる。また、

50

ワイヤの断面形状に合わせ目がない場合には、ワイヤ表面にCuメッキ若しくはNiメッキ又はこれらの複合メッキを施すこともできる。

【0036】

【実施例】

次に、本発明の実施例の効果について、本発明の範囲から外れる比較例と比較して説明する。

【0037】

下記表1及び2に示す化学成分組成を有する軟鋼（鋼皮区分A又はB）又はCr-Mo鋼（鋼皮区分C又はD）製外皮を使用して、下記表3乃至11に示すフラックス入りワイヤを製作した。ワイヤの直径は全て1.2mmとした。これらのフラックス入りワイヤを使用し、被溶接材として、図1に示す開先形状の板厚19mmの低合金耐熱鋼である0.5%Mo鋼（A204 Gr.A）、1.25%Cr-0.5%Mo鋼（A387 Gr.11 Cl.2）又は2.25%Cr-1.0%Mo鋼（A387 Gr.22 Cl.2）のいずれかの鋼板1を、ガスシールドアーク溶接により、突合せ溶接した。溶接条件は、下記表12又は13に示すとおりであり、表12は溶接金属の性能評価試験を対象としたときの溶接条件、そして表13は溶接作業性の評価試験を対象としたときの溶接条件である。なお、上記開先形状は、45°V字開先、ルートギャップ13mmである。

10

【0038】

試験項目及び溶接試験による評価項目は、下記のとおりである。

【0039】

20

（1）溶接金属の性能評価試験

表12に示した下向姿勢の溶接条件により、表3乃至6に示した比較例1乃至29、及び表7乃至11に示した実施例1乃至35の各フラックス入りワイヤを使用して溶接金属を作製後、溶接金属の放射線透過試験を行った。放射線透過試験がJIS Z3104 1類であれば良好とし、これ以外は不良とした。

【0040】

一方、PWH Tを施した後に、溶接金属についての引張試験及びシャルピー衝撃試験を行った。このPWH Tの条件は、被溶接材の材質が0.5Mo鋼である実施例7のみは620で1時間保持した後、炉冷し、その他は全て690で1時間保持した後、炉冷した。引張試験により引張強度、0.2%耐力及び伸びを測定し、各機械試験値の引張性能の合格範囲は、被溶接試験材の材質（後述する試験結果を示す表15乃至23中に示す被溶接材の「試験板鋼種」）毎に定め、表14に比較例番号又は実施例番号と対応させて示す。また、シャルピー衝撃試験は2mmVノッチの4号シャルピー試験片の温度が-18における吸収エネルギーを、3本の平均値で求め、衝撃性能の合格範囲はその平均値が55J以上、即ち 2mmV E_{18} (Avg.) 55Jとした。

30

【0041】

また、別途長時間、高温条件のPWH Tを施した後に、溶接金属についてフェライトバンドの発生有無を検査する試験をした。この場合のPWH Tの条件は、被溶接材の材質が0.5%Mo鋼、1.25%Cr-0.5%Mo鋼に対しては、690で9.5時間保持した後、炉冷し、2.25%Cr-1.0%Mo鋼に対しては、690で15.3時間保持した後、炉冷した。なお、使用した被溶接材の材質種別（試験板鋼種）及びシールドガスの組成は、後述する試験結果を示す表15乃至23に示す。フェライトバンドの発生有無の検査は、溶接金属の断面ミクロ組織観察用試験片を、PWH T後の試験板溶接金属部分から溶接線方向に等間隔で6個採取し、鏡面研磨及びエッチングの後、光学顕微鏡で観察し、フェライトバンドの発生の有無を検査した。フェライトバンドの形成抑制性能に関するワイヤ評価は、6断面中にフェライトバンドが認められなかったものを合格とし、1断面でもフェライトバンドが認められたものは不合格とした。なお、溶接金属の化学成分組成分析も行った。

40

【0042】

（2）溶接作業性の評価試験

50

溶接作業性の評価試験は、上記(1)項の下向姿勢での溶接金属作製の他に、表13に示した条件の立向すみ肉溶接も行い、表3乃至6に示した比較例1乃至29、及び表6乃至11に示した実施例1乃至33の各フラックス入りワイヤを使用して行った。溶接作業性の評価は、溶接時のアークの安定性、スラグ剥離性、スパッタ発生量及びビード形状を官能評価した。

【0043】

上述した全ての試験結果及び評価結果を、表15乃至23に示す。

【0044】

【表1】

		(質量%)									
鋼種	外皮区分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr		
軟鋼	A	0.036	<0.01	0.20	0.012	0.007	0.013	0.014	0.020		
	B	0.010	<0.01	0.25	0.006	0.004	0.011	0.012	0.019		
Cr-Mo鋼	C	0.025	0.50	1.14	0.003	0.007	0.012	0.084	1.39		
	D	0.031	0.48	1.10	0.007	0.005	0.013	0.031	2.44		

【0045】

【表2】

10

20

30

40

(質量%)

鋼種	外皮区分	Mo	Al	Ti	Nb	V	B	N	Mg
軟鋼	A	0.005	0.038	<0.002	0.003	<0.002	<0.0002	0.0024	<0.002
	B	0.002	0.008	<0.002	0.003	<0.002	<0.0002	0.0033	<0.002
Cr-Mo鋼	C	0.48	0.004	0.002	0.003	0.003	<0.0002	0.0080	<0.002
	D	1.10	0.002	<0.002	0.003	0.004	<0.0002	0.0090	<0.002

【 0 0 4 6 】
【 表 3 】

10

20

30

40

ワイヤNo.	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5	比較例6	比較例7	比較例8		
外皮区分	B	B	B	B	B	B	B	B		
フラックス率(質量%)	17.0	17.0	17.0	14.0	14.0	16.0	16.0	16.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	8.228	8.228	8.228	6.776	6.776	7.696	7.744	7.760		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.218	0.039	0.040	0.038	0.055	0.042	0.042	0.037	
	Si	0.664	0.051	1.415	0.537	0.566	0.615	0.593	0.424	
	Mn	1.451	1.381	1.387	0.541	1.623	1.369	1.373	1.364	
	P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	S	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
	Cu	0.009	0.010	0.009	0.010	0.010	0.009	0.010	0.009	
	Ni	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Cr	1.525	1.322	1.325	1.267	1.267	2.659	1.396	2.396	
	Mo	0.502	0.502	0.502	0.413	0.413	0.953	0.292	1.524	
	Al	Al(外皮, 合金粉)	0.011	0.007	0.033	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.045	0.045	0.045	0.037	0.037	0.028	0.043	0.042
		合計	0.056	0.052	0.078	0.048	0.048	0.039	0.054	0.053
	Ti	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nb	Nb(外皮, 合金粉)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V	V(外皮, 合金粉)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		合計	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	B	B(外皮, 合金粉)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007
		合計	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007
	N	0.014	0.015	0.015	0.013	0.013	0.014	0.014	0.014	
	Mg	0.798	0.798	0.798	0.657	0.657	0.751	0.751	0.639	
	Zr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	7.320	7.320	7.320	6.028	6.028	6.889	6.889	6.889
		SiO ₂	0.386	0.386	0.386	0.318	0.318	0.255	0.363	0.360
Al ₂ O ₃		0.085	0.085	0.085	0.070	0.070	0.052	0.080	0.080	
ZrO ₂		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	
MgO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.156	0.000	0.000	
V ₂ O ₅		0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	
Nb ₂ O ₅		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na ₂ O		0.050	0.050	0.050	0.041	0.041	0.042	0.047	0.044	
K ₂ O		0.039	0.039	0.039	0.032	0.032	0.024	0.037	0.037	
CaO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.027	0.027	0.027	0.022	0.022	0.026	0.026	0.023	
弗素化合物		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.000	0.045
		K ₂ SiF ₆	0.304	0.304	0.304	0.250	0.250	0.080	0.286	0.159
		CeF ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.000	0.066
	CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	
	合計(F量換算)	0.157	0.157	0.157	0.130	0.130	0.094	0.148	0.130	
その他	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.023	0.009	0.024		
Total Ti/ N	313	287	290	276	277	287	285	287		

【 0 0 4 7 】

【 表 4 】

ワイヤNo.		比較例9	比較例10	比較例11	比較例12	比較例13	比較例14	比較例15	
外皮区分		B	B	B	B	B	B	B	
フラックス率(質量%)		18.0	18.0	15.0	15.0	15.0	15.0	13.0	
スラグ造さい剤合計(質量%)		8.334	8.712	6.795	7.245	6.795	6.495	7.072	
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.046	0.051	0.044	0.044	0.044	0.044	0.040	
	Si	0.670	0.459	0.383	0.383	0.383	0.383	0.329	
	Mn	0.975	1.520	1.310	1.309	1.310	1.311	1.204	
	P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	
	S	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	
	Cu	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Ni	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Cr	1.568	1.623	1.356	1.356	1.356	1.356	1.157	
	Mo	0.565	0.531	0.443	0.443	0.443	0.443	0.384	
	Al	Al(外皮, 合金粉)	0.020	0.465	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.490	0.048	0.040	0.047	0.040	0.039	0.033
		合計	0.510	0.513	0.047	0.054	0.047	0.046	0.040
	Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nb	Nb(外皮, 合金粉)	0.002	0.002	0.016	0.009	0.002	0.002	0.002
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.001	0.008	0.001	0.010	0.000
		合計	0.002	0.002	0.017	0.017	0.003	0.012	0.002
	V	V(外皮, 合金粉)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.013	0.001	0.001
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.003	0.004	0.005	0.012	0.005	0.015	0.003
		合計	0.004	0.005	0.006	0.013	0.018	0.016	0.004
	B	B(外皮, 合金粉)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.009	0.009	0.007	0.007	0.007	0.007	0.000
		合計	0.009	0.009	0.007	0.007	0.007	0.007	0.000
	N	0.016	0.016	0.014	0.014	0.014	0.014	0.010	
	Mg	0.845	0.845	0.704	0.599	0.704	0.704	1.169	
	Zr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	6.474	7.750	5.967	5.083	5.967	5.489	6.494
		SiO ₂	0.457	0.409	0.349	1.558	0.349	0.401	0.234
		Al ₂ O ₃	0.927	0.090	0.075	0.088	0.075	0.073	0.062
		ZrO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		MgO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V ₂ O ₅	0.006	0.007	0.008	0.021	0.008	0.026	0.006
		Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.002	0.011	0.002	0.014	0.000
		Na ₂ O	0.059	0.053	0.044	0.044	0.044	0.044	0.012
K ₂ O		0.047	0.041	0.035	0.035	0.035	0.035	0.028	
CaO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.029	0.029	0.024	0.024	0.024	0.024	0.000	
弗素		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		K ₂ SiF ₆	0.322	0.322	0.268	0.268	0.268	0.268	0.233
化合物		CeF ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
物	合計(F量換算)	0.167	0.167	0.139	0.139	0.139	0.139	0.120	
	その他	0.013	0.010	0.023	0.112	0.023	0.119	0.004	
	Total Ti/ N	244	293	259	221	259	238	399	

【 0 0 4 8 】

【 表 5 】

ワイヤNo.	比較例16	比較例17	比較例18	比較例19	比較例20	比較例21	比較例22		
外皮区分	B	B	B	B	B	B	B		
フラックス率(質量%)	13.0	13.0	13.0	13.0	15.0	15.5	14.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	7.462	7.085	7.189	7.267	7.260	7.502	7.686		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.040	0.040	0.039	0.040	0.044	0.045	0.042	
	Si	0.329	0.329	0.321	0.362	0.383	0.394	0.359	
	Mn	1.203	1.204	1.166	1.165	1.056	1.080	1.236	
	P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	S	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
	Cu	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Ni	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Cr	1.157	1.157	1.102	1.377	1.356	1.392	1.281	
	Mo	0.384	0.384	0.384	0.384	0.443	0.457	0.413	
	Al Al(外皮, 合金粉)	0.007	0.010	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.039	0.033	0.035	0.035	0.040	0.041	0.294
		合計	0.046	0.043	0.042	0.042	0.047	0.048	0.301
	Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nb Nb(外皮, 合金粉)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V V(外皮, 合金粉)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
		合計	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003
	B B(外皮, 合金粉)	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.022	0.001	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008
		合計	0.022	0.023	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008
	N	0.010	0.010	0.003	0.037	0.014	0.013	0.015	
	Mg	1.169	1.169	0.519	0.519	0.180	1.517	0.657	
	Zr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	6.494	6.494	6.494	6.494	6.459	6.674	4.126
		SiO ₂	0.439	0.241	0.296	0.296	0.341	0.352	2.258
		Al ₂ O ₃	0.074	0.062	0.066	0.066	0.075	0.078	0.556
		ZrO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		MgO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V ₂ O ₅		0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.004	
Nb ₂ O ₅		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na ₂ O		0.101	0.015	0.039	0.039	0.044	0.046	0.187	
K ₂ O		0.035	0.028	0.030	0.030	0.035	0.036	0.198	
CaO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.069	0.002	0.021	0.021	0.024	0.025	0.025	
弗素化合物		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		K ₂ SiF ₆	0.233	0.233	0.233	0.233	0.268	0.277	0.250
		CeF ₃	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000
		CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000
	合計(F量換算)	0.120	0.120	0.120	0.148	0.139	0.144	0.130	
その他	0.012	0.004	0.006	0.013	0.008	0.008	0.082		
Total Ti/ N	400	399	1326	105	280	306	166		

10

20

30

40

【 0 0 4 9 】

【 表 6 】

ワイヤNo.	比較例23	比較例24	比較例25	比較例26	比較例27	比較例28	比較例29		
外皮区分	B	B	B	B	B	B	B		
フラックス率(質量%)	14.0	13.0	16.0	16.0	14.0	18.0	14.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	9.002	7.644	8.848	7.744	6.874	8.694	8.036		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.034	0.040	0.046	0.047	0.042	0.047	0.041	
	Si	0.367	0.332	0.395	0.049	0.360	0.325	0.343	
	Mn	1.230	1.165	1.266	0.502	1.140	1.033	1.275	
	P	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	
	S	0.005	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	
	Cu	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Ni	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Cr	1.356	1.178	1.396	1.378	1.281	1.153	1.292	
	Mo	0.413	0.384	0.472	0.472	0.413	0.531	0.413	
	Al	Al(外皮, 合金粉)	0.013	0.007	0.007	0.007	0.007	0.465	0.007
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.029	0.035	0.042	0.043	0.132	0.048	0.042
		合計	0.042	0.042	0.049	0.050	0.139	0.513	0.049
	Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nb	Nb(外皮, 合金粉)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V	V(外皮, 合金粉)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.004	0.004
		合計	0.005	0.005	0.005	0.004	0.003	0.005	0.005
	B	B(外皮, 合金粉)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.008	0.006	0.007	0.008	0.008	0.008	0.023
		合計	0.008	0.006	0.007	0.008	0.008	0.008	0.023
	N	0.013	0.012	0.014	0.014	0.015	0.038	0.038	
	Mg	0.559	0.610	0.639	0.799	0.657	0.845	1.259	
	Zr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	8.322	7.143	7.193	6.889	4.126	7.750	6.993
		SiO ₂	0.271	0.289	0.355	0.363	1.042	0.399	0.473
		Al ₂ O ₃	0.055	0.065	0.080	0.080	0.249	0.090	0.079
		ZrO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		MgO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V ₂ O ₅	0.007	0.006	0.006	0.006	0.004	0.007	0.006
		Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Na ₂ O	0.046	0.036	0.044	0.047	0.103	0.049	0.109
K ₂ O		0.019	0.030	0.037	0.037	0.085	0.041	0.038	
CaO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.025	0.019	0.023	0.026	0.025	0.026	0.075	
弗素化合物		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.606	0.000	0.000
		K ₂ SiF ₆	0.250	0.039	1.097	0.286	0.557	0.322	0.250
		CeF ₃	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	合計(F量換算)	0.130	0.023	0.568	0.148	0.562	0.167	0.130	
その他	0.006	0.007	0.013	0.009	0.078	0.009	0.013		
Total Ti/ N	384	348	298	305	166	121	111		

【 0 0 5 0 】

【 表 7 】

ワイヤNo.	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7	
外皮区分	A	B	B	B	B	B	B	
フラックス率(質量%)	15.0	15.0	15.0	18.0	18.0	13.0	14.0	
スラグ造さい剤合計(質量%)	7.260	7.260	7.245	8.910	8.910	6.565	7.140	
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.170	0.036	0.037	0.044	0.043	0.035	0.036
	Si	0.487	0.073	0.841	0.417	0.271	0.357	0.379
	Mn	0.640	1.217	0.817	0.569	1.573	1.008	1.074
	P	0.012	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006
	S	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	Cu	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	Ni	0.012	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	Cr	1.125	1.293	1.294	1.548	1.548	2.524	0.113
	Mo	0.380	0.443	0.443	0.531	0.531	0.978	0.466
	Al	0.033	0.007	0.022	0.007	0.007	0.008	0.007
	Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.040	0.040	0.040	0.048	0.048	0.035	0.038
	Al合計	0.073	0.047	0.062	0.055	0.055	0.043	0.045
	Ti	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	Nb	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Nb合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	V ₂ O ₅ (V量換算)	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003
	V合計	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B ₂ O ₃ (B量換算)	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.007	0.007
	B合計	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.007	0.007
	N	0.012	0.013	0.013	0.015	0.015	0.011	0.015
	Mg	0.599	0.599	0.599	0.719	0.719	0.519	0.559
	Zr	0.109	0.033	0.033	0.261	0.163	0.118	0.127
	TiO ₂	6.459	6.459	5.994	7.553	7.553	5.455	5.874
	SiO ₂	0.341	0.341	0.341	0.467	0.467	0.301	0.324
	Al ₂ O ₃	0.075	0.075	0.075	0.090	0.090	0.066	0.071
	ZrO ₂	0.000	0.000	0.000	0.299	0.299	0.129	0.139
	MgO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.269
V ₂ O ₅	0.006	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005	0.005	
Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na ₂ O	0.044	0.044	0.044	0.053	0.053	0.039	0.041	
K ₂ O	0.035	0.035	0.035	0.041	0.041	0.030	0.032	
CaO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	
B ₂ O ₃	0.024	0.024	0.024	0.029	0.029	0.022	0.023	
スラグ造さい剤	弗素	0.000	0.000	0.141	0.169	0.122	0.132	
	NaF	0.000	0.000	0.141	0.169	0.122	0.132	
	K ₂ SiF ₆	0.268	0.268	0.119	0.143	0.103	0.111	
	CeF ₃	0.000	0.000	0.374	0.000	0.000	0.058	
	CeF ₃	0.000	0.000	0.374	0.000	0.000	0.058	
化合物	CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.035	0.025	0.027	
	合計(F量換算)	0.139	0.139	0.234	0.168	0.121	0.147	
	その他	0.008	0.008	0.093	0.022	0.016	0.029	
Total Ti/ N	320	301	281	306	307	286	234	

【 0 0 5 1 】

【 表 8 】

ワイヤNo.	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	実施例13	実施例14
外皮区分	A	B	B	B	B	B	B
フラックス率(質量%)	17.0	16.0	16.0	13.0	15.5	15.5	15.5
スラグ造さい剤合計(質量%)	8.636	8.272	8.368	7.111	7.549	7.564	7.564
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.064	0.048	0.047	0.040	0.046	0.046
	Si	0.462	0.624	0.536	0.404	0.526	0.532
	Mn	1.202	1.379	1.379	1.077	1.343	1.228
	P	0.011	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
	S	0.008	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	Cu	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	Ni	0.012	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	Cr	2.482	1.445	1.278	1.158	1.280	1.214
	Mo	1.068	0.472	0.472	0.408	0.457	0.457
	Al	0.032	0.167	0.007	0.007	0.008	0.007
	Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.046	0.295	0.043	0.033	0.041	0.041
	Al合計	0.078	0.462	0.050	0.041	0.049	0.050
	Ti	0.072	0.068	0.068	0.001	0.286	0.066
	Nb	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
	Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
	Nb合計	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.002
	V	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	V ₂ O ₅ (V量換算)	0.004	0.003	0.007	0.003	0.003	0.003
	V合計	0.005	0.004	0.008	0.004	0.004	0.004
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
	B ₂ O ₃ (B量換算)	0.009	0.008	0.008	0.002	0.008	0.009
	B合計	0.009	0.008	0.008	0.002	0.018	0.009
	N	0.013	0.014	0.019	0.007	0.023	0.006
	Mg	0.849	0.751	0.751	0.234	0.728	0.728
	Zr	0.154	0.145	0.116	0.000	0.112	0.028
	TiO ₂	7.133	6.889	7.135	6.494	6.674	6.674
	SiO ₂	0.394	0.363	0.384	0.255	0.352	0.360
Al ₂ O ₃	0.086	0.558	0.080	0.063	0.078	0.078	
ZrO ₂	0.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
MgO	0.326	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000	
V ₂ O ₅	0.006	0.006	0.012	0.006	0.006	0.006	
Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	
Na ₂ O	0.050	0.049	0.047	0.021	0.046	0.049	
K ₂ O	0.039	0.037	0.037	0.028	0.036	0.036	
CaO	0.004	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃	0.028	0.026	0.026	0.007	0.025	0.028	
スラグ造さい剤	弗素 NaF	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	K ₂ SiF ₆	0.135	0.286	0.286	0.233	0.277	0.277
	化 CeF ₃	0.042	0.040	0.000	0.000	0.039	0.039
	合 CaF ₂	0.033	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000
	物 合計(F量換算)	0.171	0.160	0.224	0.120	0.155	0.155
その他	0.030	0.017	0.042	0.005	0.016	0.017	
Total Ti/ N	328	291	233	539	184	679	125

【 0 0 5 2 】

【 表 9 】

ワイヤNo.	実施例15	実施例16	実施例17	実施例18	実施例19	実施例20	実施例21		
外皮区分	B	A	B	B	B	B	B		
フラックス率(質量%)	15.5	15.5	15.5	15.0	16.0	16.0	16.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	7.549	7.502	7.146	8.730	7.512	8.592	6.256		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.040	0.060	0.044	0.043	0.046	0.046	0.049	
	Si	0.556	0.388	0.354	0.342	0.396	0.396	0.365	
	Mn	1.169	1.124	1.228	1.192	1.268	1.265	1.150	
	P	0.007	0.011	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	S	0.005	0.007	0.005	0.004	0.005	0.005	0.005	
	Cu	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Ni	0.010	0.012	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	
	Cr	1.351	1.352	1.280	1.239	1.396	1.396	1.321	
	Mo	0.457	0.460	0.457	0.443	0.472	0.472	0.452	
	Al	0.007	0.032	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.041	0.041	0.047	0.032	0.043	0.043	0.042	
	Al合計	0.048	0.073	0.054	0.039	0.050	0.050	0.049	
	Ti	0.163	0.033	0.098	0.126	0.034	0.201	0.034	
	Nb	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
	Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Nb合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
	V	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	V ₂ O ₅ (V量換算)	0.003	0.003	0.002	0.004	0.003	0.003	0.003	
	V合計	0.004	0.004	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004	
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	B ₂ O ₃ (B量換算)	0.008	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008	0.008	
	B合計	0.008	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008	0.008	
	N	0.008	0.007	0.023	0.023	0.015	0.014	0.024	
	Mg	0.232	1.487	0.728	0.704	0.751	0.751	0.799	
	Zr	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	6.674	6.674	4.336	8.017	6.889	6.889	5.355
SiO ₂		0.352	0.352	0.851	0.280	0.363	0.364	0.363	
Al ₂ O ₃		0.078	0.078	0.089	0.060	0.080	0.080	0.080	
ZrO ₂		0.000	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	0.000	
MgO		0.000	0.000	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	
V ₂ O ₅		0.006	0.006	0.004	0.007	0.006	0.006	0.005	
Nb ₂ O ₅		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na ₂ O		0.046	0.046	0.052	0.041	0.047	0.047	0.047	
K ₂ O		0.036	0.036	0.041	0.027	0.037	0.037	0.037	
CaO		0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.025	0.025	0.028	0.024	0.026	0.026	0.026	
弗素化合物		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.452	0.000
K ₂ SiF ₆		0.277	0.277	0.277	0.268	0.048	0.557	0.286	
CeF ₃	0.039	0.000	0.039	0.000	0.007	0.040	0.040		
CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000		
合計(F量換算)	0.155	0.144	0.155	0.139	0.027	0.527	0.160		
その他	0.016	0.008	0.032	0.005	0.009	0.047	0.018		
Total Ti/ N	517	558	115	218	287	299	135		

【 0 0 5 3 】

【 表 1 0 】

ワイヤNo.	実施例22	実施例23	実施例24	実施例25	実施例26	実施例27	実施例28		
外皮区分	B	C	C	C	C	A	B		
フラックス率(質量%)	18.0	15.0	17.0	15.0	12.0	16.0	14.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	9.720	7.260	7.701	6.795	6.636	7.744	6.804		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.054	0.049	0.051	0.048	0.043	0.068	0.043	
	Si	0.410	0.563	0.434	0.493	0.453	0.368	0.447	
	Mn	1.257	1.275	1.293	1.275	1.246	0.974	0.984	
	P	0.007	0.004	0.004	0.004	0.003	0.012	0.007	
	S	0.005	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	
	Cu	0.009	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010	
	Ni	0.010	0.043	0.042	0.043	0.044	0.012	0.010	
	Cr	1.483	1.269	1.253	1.341	1.293	1.522	2.250	
	Mo	0.508	0.502	0.505	0.502	0.498	0.505	0.878	
	Al	Al	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004	0.032	0.007
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.038	0.040	0.045	0.040	0.032	0.043	0.037
		Al合計	0.045	0.044	0.049	0.043	0.036	0.075	0.044
	Ti	0.114	0.002	0.144	0.127	0.002	0.001	0.001	
	Nb	Nb	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Nb合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V	V	0.001	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		V合計	0.005	0.006	0.005	0.006	0.006	0.004	0.004
	B	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.009	0.007	0.008	0.007	0.006	0.008	0.008
		B合計	0.009	0.007	0.008	0.007	0.006	0.008	0.008
	N	0.027	0.018	0.019	0.027	0.016	0.023	0.019	
	Mg	0.899	0.674	0.764	0.674	0.539	0.799	0.699	
	Zr	0.000	0.081	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	7.912	6.459	6.793	5.994	5.994	6.889	5.594
		SiO ₂	0.624	0.341	0.386	0.341	0.273	0.363	0.374
		Al ₂ O ₃	0.071	0.075	0.085	0.075	0.061	0.080	0.071
		ZrO ₂	0.604	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.094
		MgO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.133
		V ₂ O ₅	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005
		Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Na ₂ O	0.050	0.044	0.050	0.044	0.036	0.047	0.046
K ₂ O		0.033	0.035	0.039	0.035	0.028	0.037	0.030	
CaO		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
B ₂ O ₃		0.029	0.024	0.027	0.024	0.019	0.026	0.025	
弗素化合物		NaF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
		K ₂ SiF ₆	0.322	0.268	0.304	0.268	0.215	0.286	0.250
	CeF ₃	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.116	
	CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	
	合計(F量換算)	0.180	0.139	0.157	0.139	0.111	0.148	0.176	
その他	0.024	0.008	0.010	0.008	0.006	0.009	0.035		
Total Ti/ N	183	215	218	138	225	178	172		

10

20

30

40

【 0 0 5 4 】

【 表 1 1 】

ワイヤNo.	実施例29	実施例30	実施例31	実施例32	実施例33	実施例34	実施例35		
外皮区分	B	B	B	D	D	B	B		
フラックス率(質量%)	15.0	15.0	15.5	16.0	14.0	13.0	15.0		
スラグ造さい剤合計(質量%)	7.290	7.245	7.487	7.216	6.314	7.215	8.325		
ワイヤ組成 (質量%)	C	0.061	0.059	0.062	0.055	0.052	0.044	0.050	
	Si	0.663	0.461	0.518	0.463	0.465	0.471	0.606	
	Mn	1.037	1.035	1.062	1.251	1.232	1.236	1.240	
	P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	S	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	
	Cu	0.010	0.010	0.009	0.012	0.012	0.010	0.010	
	Ni	0.010	0.010	0.010	0.026	0.027	0.010	0.010	
	Cr	2.338	2.338	2.416	2.134	2.173	1.178	1.282	
	Mo	0.940	0.940	0.972	0.994	1.007	0.400	0.462	
	Al	Al	0.007	0.007	0.007	0.002	0.002	0.007	0.007
		Al ₂ O ₃ (Al量換算)	0.040	0.039	0.041	0.042	0.036	0.035	0.041
		Al合計	0.047	0.046	0.048	0.044	0.038	0.042	0.048
	Ti	0.001	0.126	0.130	0.135	0.001	0.001	0.126	
	Nb	Nb	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		Nb ₂ O ₅ (Nb量換算)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Nb合計	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	V	V	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.001	0.001
		V ₂ O ₅ (V量換算)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004
		V合計	0.004	0.004	0.004	0.006	0.006	0.004	0.005
	B	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		B ₂ O ₃ (B量換算)	0.008	0.006	0.006	0.006	0.005	0.008	0.009
		B合計	0.008	0.006	0.006	0.006	0.005	0.008	0.009
	N	0.021	0.021	0.021	0.018	0.017	0.010	0.010	
	Mg	0.749	0.749	0.774	0.799	0.699	1.273	0.749	
	Zr	0.136	0.000	0.028	0.029	0.025	0.094	0.163	
	スラグ造さい剤	TiO ₂	5.994	5.994	6.194	6.394	5.594	6.494	7.493
		SiO ₂	0.401	0.378	0.390	0.347	0.304	0.309	0.357
		Al ₂ O ₃	0.076	0.074	0.077	0.079	0.069	0.066	0.077
		ZrO ₂	0.101	0.101	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000
		MgO	0.143	0.143	0.148	0.000	0.000	0.000	0.000
		V ₂ O ₅	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.007
		Nb ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Na ₂ O	0.050	0.040	0.041	0.042	0.037	0.044	0.051
K ₂ O		0.032	0.031	0.032	0.033	0.029	0.030	0.035	
CaO		0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
B ₂ O ₃		0.027	0.019	0.020	0.020	0.017	0.025	0.029	
弗素化合物		NaF	0.014	0.014	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
		K ₂ SiF ₆	0.268	0.268	0.277	0.286	0.250	0.233	0.268
	CeF ₃	0.125	0.125	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	
	CaF ₂	0.015	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	
	合計(F量換算)	0.188	0.188	0.195	0.148	0.130	0.120	0.139	
その他	0.038	0.037	0.038	0.009	0.008	0.007	0.008		
Total Ti/ N	174	180	181	215	194	400	450		

【 0 0 5 5 】

【 表 1 2 】

溶接電流 A (DCEP)	アーク電圧 V	溶接速度 cm/min	溶接 姿勢	シールドガス 組成 (流量 L/min.)	予熱・パス間温度 ℃	備考
270	27~32	25~30	下向	組成は表中に記載。 流量：25L/min.	176±15	2.25Cr-1Mo系
					150±15	1.25Cr-0.5Mo系
						0.5Mo系

10

20

30

40

【0056】

【表13】

溶接電流 A (DC EP)	アーク電圧 V	溶接速度 cm/min	溶接 姿勢	シールドガス 組成 (流量 L/min.)	予熱・パス間温度 °C	備考
180	22~26	20~30	立向	組成は表中に記載。 流量：25L/min.	176±15	2.25Cr-1Mo系 1.25Cr-0.5Mo系
					150±15	0.5Mo系

【 0 0 5 7 】

【 表 1 4 】

10

20

30

40

ワイヤ区分	引張性能 合格範囲			衝撃性能 合格範囲
	0.2%耐力	引張強さ	伸び	
比較例1~5、7、9~29	Min. 470Mpa	560~690Mpa	Min. 19%	2mmVE-18℃
実施例1~5、9~27、34、35				
比較例6、8	Min. 540Mpa	620~760Mpa	Min. 17%	Avg. 55J以上
実施例6、8、28~33				
実施例7	Min. 400Mpa	480~620Mpa	Min. 20%	

実施例7 : PWHT条件 620℃×1hr、炉冷
 実施例7以外 : PWHT条件 690℃×1hr、炉冷

【0058】

【表15】

10

20

30

40

ワイヤNo.	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5	比較例6	比較例7	比較例8
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.22 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.22 Cl.2				
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂							
C	0.209	0.048	0.049	0.045	0.066	0.051	0.050	0.045
Si	0.73	0.06	1.56	0.58	0.62	0.68	0.65	0.47
Mn	1.06	1.01	1.02	0.39	1.17	1.00	1.00	0.99
P	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
S	0.009	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010
Cu	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.015	0.014
Ni	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cr	1.48	1.28	1.28	1.21	1.21	2.56	1.35	2.31
Mo	0.56	0.56	0.56	0.46	0.46	1.06	0.32	1.70
Al	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Ti	0.101	0.048	0.215	0.039	0.155	0.098	0.094	0.094
Nb	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
V	0.009	0.009	0.009	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
B	0.0049	0.0005	0.0049	0.0006	0.0040	0.0046	0.0046	0.0041
N	0.012	0.013	0.013	0.011	0.011	0.013	0.013	0.013
溶接作業性	良好	不良	良好	良好	不良	良好	良好	良好
放射線透過試験※	JIS 1類以下(HC)	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類
引張強度(MPa)	732	572	728	541	740	775	545	769
0.2%耐力(MPa)	602	475	612	445	642	683	444	660
伸び(%)	21	24	20	28	18	19	22	21
2mmV _E -18℃(Avg. I)	33	14	13	19	22	21	63	33
フェライトの存在	合格	不合格	合格	不合格	合格	合格	合格	合格

※ HC：高温割れ発生 BH：ブローホール発生

【 0 0 5 9 】
【 表 1 6 】

ワイヤNo.	比較例9	比較例10	比較例11	比較例12	比較例13	比較例14	比較例15
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2						
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂						
溶接金属の化学成分 (質量%)	C	0.055	0.062	0.053	0.053	0.052	0.047
	Si	0.74	0.51	0.42	0.42	0.42	0.36
	Mn	0.72	1.12	0.95	0.95	0.95	0.87
	P	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007
	S	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
	Cu	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
	Ni	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
	Cr	1.52	1.58	1.29	1.30	1.29	1.11
	Mo	0.63	0.60	0.49	0.49	0.49	0.42
	Al	0.022	0.022	0.002	0.002	0.002	0.002
	Ti	0.169	0.204	0.081	0.069	0.081	0.074
	Nb	0.002	0.002	0.019	0.018	0.003	0.013
	V	0.007	0.008	0.010	0.022	0.031	0.026
B	0.0052	0.0052	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	
N	0.014	0.014	0.012	0.012	0.012	0.012	
溶接作業性	良好						
放射線透過試験※	JIS 1類						
引張強度(MPa)	694	703	675	683	654	664	646
0.2%耐力(MPa)	597	599	590	595	565	559	558
伸び(%)	25	23	24	24	23	23	25
2mmVE-18°C (Avg. J)	5	7	11	13	21	25	9
フライトバンドの有無	合格						
試験結果							

【 0 0 6 0 】

【 表 1 7 】

ワイヤN.O.	比較例16	比較例17	比較例18	比較例19	比較例20	比較例21	比較例22
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2						
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂						
C	0.047	0.047	0.047	0.048	0.053	0.054	0.050
Si	0.36	0.36	0.35	0.40	0.42	0.43	0.39
Mn	0.87	0.87	0.85	0.84	0.77	0.79	0.90
P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
S	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Cu	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Ni	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cr	1.11	1.11	1.06	1.32	1.30	1.34	1.23
Mo	0.43	0.42	0.42	0.42	0.49	0.51	0.46
Al	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.013
Ti	0.089	0.088	0.088	0.088	0.042	0.151	0.040
Nb	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
V	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005
B	0.0124	0.0132	0.0037	0.0037	0.0009	0.0045	0.0045
N	0.009	0.008	0.003	0.032	0.012	0.011	0.013
溶接作業性	良好	良好	良好	不良	良好	不良	不良
放射線透過試験※	JIS 1類以下(HC)	JIS 1類以下(HC)	JIS 1類	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類	JIS 1類
引張強度(MPa)	674	675	663	649	652	663	673
0.2%耐力(MPa)	569	558	567	538	559	561	569
伸び(%)	25	24	25	22	25	25	25
2mmvE-18℃(Avg. J)	67	57	33	15	11	32	59
フェライトの有無	合格	合格	不合格	合格	不合格	合格	不合格

※ HC：高温割れ発生 BH：ブローホール発生

【 0 0 6 1 】

【 表 1 8 】

ワイヤNo.	比較例23	比較例24	比較例25	比較例26	比較例27	比較例28	比較例29
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2						
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂						
C	0.042	0.048	0.056	0.057	0.050	0.057	0.049
Si	0.41	0.36	0.44	0.05	0.39	0.36	0.38
Mn	0.91	0.85	0.93	0.37	0.82	0.76	0.93
P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
S	0.009	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.009
Cu	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Ni	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cr	1.32	1.13	1.36	1.33	1.22	1.12	1.25
Mo	0.47	0.43	0.53	0.53	0.46	0.60	0.46
Al	0.002	0.002	0.002	0.002	0.006	0.022	0.002
Ti	0.116	0.046	0.100	0.045	0.048	0.204	0.096
Nb	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003
V	0.009	0.009	0.009	0.007	0.005	0.008	0.009
B	0.0045	0.0009	0.0041	0.0009	0.0044	0.0047	0.0135
N	0.012	0.011	0.013	0.012	0.013	0.034	0.033
溶接作業性	良好	不良	不良	不良	不良	不良	不良
放射線透過試験※	JIS 1類以下(SI)	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類	JIS 1類以下(BH)	JIS 1類以下(BH,HC)
引張強度(MPa)	679	654	665	532	573	712	673
0.2%耐力(MPa)	585	560	573	445	485	625	565
伸び(%)	26	26	25	23	25	18	21
2mmVE-18℃(Avg. J)	38	13	65	13	69	18	13
フェライトの有無	合格	不合格	合格	不合格	不合格	合格	合格

※ HC：高温割れ発生 BH：ブローホール発生 SI：スラグ巻き込み発生

【 0 0 6 2 】

【 表 1 9 】

ワイヤNo.	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.22 Cl.2	A204 Gr.A
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	100%CO ₂	100%CO ₂	100%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂
C	0.147	0.043	0.044	0.054	0.053	0.042	0.043
Si	0.53	0.08	0.73	0.37	0.24	0.39	0.41
Mn	0.46	0.88	0.57	0.41	1.12	0.73	0.78
P	0.012	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
S	0.013	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.009
Cu	0.018	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Ni	0.018	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cr	1.08	1.24	1.19	1.44	1.44	2.40	0.11
Mo	0.42	0.49	0.48	0.58	0.58	1.07	0.52
Al	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
Ti	0.088	0.088	0.078	0.099	0.099	0.074	0.080
Nb	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
V	0.007	0.007	0.006	0.008	0.008	0.006	0.007
B	0.0043	0.0043	0.0043	0.0052	0.0052	0.0039	0.0042
N	0.011	0.011	0.011	0.013	0.013	0.010	0.013
溶接作業性	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
放射線透過試験	JIS I類	JIS I類	JIS I類	JIS I類	JIS I類	JIS I類	JIS I類
引張強度(MPa)	682	673	685	685	683	696	579
0.2%耐力(MPa)	595	595	594	598	589	602	483
伸び(%)	20	25	22	25	24	25	26
2mmvE-18°C (Avg. J)	120	109	110	108	125	121	82
フェライトの存在	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

【 0 0 6 3 】

【 規 2 0 】

ワイヤNo.	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	実施例13	実施例14
試験板鋼種	A387 Gr.22 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2
シーールドガス組成	100%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	100%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂
溶接金属の化学成分 (質量%)	C	0.077	0.059	0.057	0.048	0.055	0.055
	Si	0.40	0.69	0.47	0.44	0.58	0.43
	Mn	0.86	1.01	0.98	0.78	0.98	0.89
	P	0.012	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
	S	0.015	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
	Cu	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
	Ni	0.018	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
	Cr	2.31	1.40	1.19	1.11	1.23	1.17
	Mo	1.17	0.53	0.52	0.45	0.51	0.51
	Al	0.003	0.020	0.002	0.002	0.002	0.002
	Ti	0.095	0.114	0.095	0.088	0.116	0.110
	Nb	0.002	0.003	0.007	0.003	0.002	0.002
	V	0.008	0.007	0.013	0.007	0.007	0.007
	B	0.0051	0.0046	0.0046	0.0014	0.0104	0.0050
N	0.012	0.013	0.016	0.006	0.020	0.005	
溶接作業性	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
放射線透過試験	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類
引張強度(MPa)	716	673	663	661	681	653	679
0.2%耐力(MPa)	623	591	572	562	578	562	567
伸び(%)	25	25	25	27	24	27	23
2mmVE-18°C (Avg. I)	118	108	92	62	75	89	76
7.5mmバンドの有無	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
試験結果							合格

【 0 0 6 4 】

【 表 2 1 】

ワイヤNo.	実施例15	実施例16	実施例17	実施例18	実施例19	実施例20	実施例21
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2						
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂						
C	0.049	0.073	0.053	0.052	0.055	0.056	0.058
Si	0.61	0.43	0.39	0.38	0.43	0.44	0.40
Mn	0.85	0.82	0.89	0.88	0.92	0.93	0.82
P	0.007	0.012	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007
S	0.009	0.013	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009
Cu	0.015	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Ni	0.015	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cr	1.30	1.30	1.23	1.21	1.34	1.36	1.25
Mo	0.51	0.51	0.51	0.50	0.52	0.53	0.50
Al	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Ti	0.113	0.109	0.073	0.135	0.113	0.118	0.087
Nb	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002
V	0.007	0.007	0.005	0.008	0.007	0.007	0.006
B	0.0045	0.0045	0.0050	0.0044	0.0046	0.0047	0.0045
N	0.007	0.006	0.020	0.020	0.013	0.013	0.021
溶接作業性	良好						
放射線透過試験	JIS 1類						
引張強度 (MPa)	649	665	647	673	669	673	662
0.2%耐力 (MPa)	538	561	552	569	553	561	565
伸び (%)	28	26	24	22	24	25	24
2mmvE-18°C (Avg. J)	95	88	84	76	113	116	82
フェライトバンドの有無	合格						

【 0 0 6 5 】

【 規 2 2 】

ワイヤN.O.	実施例22	実施例23	実施例24	実施例25	実施例26	実施例27	実施例28
試験板鋼種	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.11 Cl.2	A387 Gr.22 Cl.2
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂	98%Ar+2%O ₂	80%Ar+20%CO ₂				
溶接金属の化学成分 (質量%)	C	0.067	0.059	0.061	0.058	0.051	0.051
	Si	0.46	0.63	0.48	0.54	0.49	0.41
	Mn	0.94	1.10	0.94	0.92	0.90	0.71
	P	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004	0.012
	S	0.009	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013
	Cu	0.015	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
	Ni	0.015	0.063	0.061	0.062	0.064	0.017
	Cr	1.46	1.30	1.21	1.28	1.23	1.47
	Mo	0.58	0.56	0.56	0.55	0.55	0.56
	Al	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
	Ti	0.135	0.104	0.114	0.100	0.081	0.094
	Nb	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
	V	0.008	0.010	0.009	0.009	0.010	0.007
	B	0.0053	0.0043	0.0049	0.0043	0.0034	0.0046
N	0.024	0.016	0.017	0.023	0.014	0.020	
溶接作業性	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
放射線透過試験	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類	JIS 1類
引張強度(MPa)	672	659	662	667	672	680	721
0.2%耐力(MPa)	574	549	553	559	562	579	630
伸び(%)	23	24	25	24	26	24	26
2mmV-E-18°C (Avg. J)	78	79	88	81	65	68	63
ファイバードの有無	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

【 0 0 6 6 】
【 規 2 3 】

ワイヤNo.	実施例29	実施例30	実施例31	実施例32	実施例33	実施例34	実施例35
試験板鋼種	A387 Gr. 22 Cl. 2	A387 Gr. 11 Cl. 2	A387 Gr. 11 Cl. 2				
シールドガス組成	80%Ar+20%CO ₂						
溶接金属の化学成分 (質量%)	C	0.073	0.071	0.074	0.066	0.061	0.061
	Si	0.73	0.50	0.57	0.51	0.50	0.51
	Mn	0.75	0.75	0.77	0.91	0.88	0.90
	P	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
	S	0.009	0.010	0.010	0.010	0.010	0.009
	Cu	0.015	0.015	0.015	0.018	0.018	0.015
	Ni	0.015	0.015	0.015	0.038	0.039	0.015
	Cr	2.24	2.24	2.32	2.05	2.06	1.13
	Mo	1.04	1.04	1.08	1.10	1.10	0.44
	Al	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Ti	0.082	0.100	0.104	0.107	0.075	0.088
	Nb	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
	V	0.007	0.007	0.007	0.010	0.011	0.007
	B	0.0049	0.0034	0.0036	0.0036	0.0031	0.0046
N	0.018	0.018	0.019	0.016	0.015	0.008	
溶接作業性	良好						
放射線透過試験	JIS 1類						
引張強度(MPa)	732	742	748	746	732	675	678
0.2%耐力(MPa)	641	651	653	655	631	573	569
伸び(%)	26	25	25	25	26	24	25
2mmVE-18℃(Avg. J)	81	83	89	89	81	132	110
7.5Tバンドの有無	合格						

【0067】

以下、各比較例及び実施例のフラックス入りワイヤを使用した試験結果について説明する。

【0068】

比較例1は、C含有量が本発明の上限値である0.20質量%を超えているので、Cに起因した高温割れが認められると共に、引張強度が過度に大きくなり、所定の衝撃性能を満

足できなかった。

【0069】

比較例2は、Si含有量が本発明の下限値である0.06質量%を外れているので、溶接金属の粘性が不足して立向溶接のビード形状が凸ビードとなり不良となった。また、脱酸不足のためにブローホールが発生し、更にBの歩留り低下によって、靱性が低下し、所定の衝撃性能を満足できなかった。更に、TiO₂の還元不足のために、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出物の量を確保することができず、フェライトバンドが発生した。

【0070】

比較例3は、Si含有量が本発明の上限値である1.10質量%を超えているので、引張強度が過度に大きくなると共に、TiO₂が過度に還元されて固溶Tiが増加したために、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

10

【0071】

比較例4は、Mn含有量が本発明の下限値である0.55質量%を外れており、溶接作業性には支障がなかったものの、脱酸不足のためにブローホールが発生し、更に焼入不足及びBの歩留り低下によって、引張強度、0.2%耐力及び靱性が低下し、これら夫々に対応する所定の各性能を満足できなかった。更に、TiO₂の還元不足のために、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出量が確保されず、フェライトバンドが発生した。

【0072】

比較例5は、Mn含有量が本発明の上限値である1.60質量%を超えているので、溶融金属の流動性が過度に大きくなって、立向溶接のビード形状が凸型を呈し不良となった。また、引張強度が過度に大きくなった上、TiO₂が過度に還元されて固溶Tiが増加したために、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

20

【0073】

比較例6は、Cr含有量が本発明の上限値である2.60質量%を超えているので、引張強度が過度に大きくなって、靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0074】

比較例7は、Mo含有量が本発明の下限値である0.30質量%を外れているので、引張強度及び0.2%耐力が低下し、強度性能が劣化した。

【0075】

30

比較例8は、Mo含有量が本発明の上限値である1.50質量%を超えているので、引張強度が過度に大きくなって、靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0076】

比較例9及び10はいずれも、Al含有量が本発明の上限値である0.50質量%を超えているので、溶接金属が硬化及び脆化して、引張強度が過度に大きくなって、靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0077】

比較例11及び12はいずれも、Nb含有量が本発明の上限値である0.015質量%を超えているので、靱性が低下し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0078】

40

比較例13及び14はいずれも、V含有量が本発明の上限値である0.015質量%を超えているので、靱性が低下し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0079】

比較例15は、B含有量が本発明の下限値である0.001質量%を外れているので、溶接金属のミクロ組織が微細化せず、靱性が低下し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0080】

比較例16及び17はいずれも、B含有量が本発明の上限値である0.020質量%を超えているので、高温割れが発生した。

【0081】

比較例18は、N含有量が本発明の下限値である0.005質量%を外れているので、固

50

溶TiをTiNの析出物として固定することができず、靱性が低下し、所定の衝撃性能を満足できなかった。更に、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出量が確保されず、フェライトバンドが発生した。

【0082】

比較例19は、N含有量が本発明の上限値である0.035質量%を超えているので、スラグ剥離性が劣化し、またブローホールが発生した。更に、固溶Nが増加したために、靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0083】

比較例20は、Mg含有量が本発明の下限値である0.20質量%を外れているので、脱酸不足のためにブローホールが発生し、またBの歩留が低下して靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。更に、TiO₂の還元不足のために、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出物の量を確保することができず、フェライトバンドが発生した。

10

【0084】

比較例21は、Mg含有量が本発明の上限値である1.50質量%を超えているので、スパッタが著しく増加した。またTiO₂が過度に還元されて固溶Tiが増加したために、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0085】

比較例22は、TiO₂含有量が本発明の下限値である4.2質量%を外れているので、アークの安定性が損なわれて、溶接作業性が実用に耐えることができなかった。またTiO₂含有量が少なかったために、TiO₂の還元量の不足のために、生成するTi量が減少し、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出物の量を確保することができず、フェライトバンドが発生した。

20

【0086】

比較例23は、TiO₂含有量が本発明の上限値である8.2質量%を超えているので、溶接時にスラグが溶融プールを先行して覆ってしまう現象が発生した。このため、溶接金属にスラグの巻き込み欠陥が発生した。また、溶接金属の酸素含有量が増加して、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0087】

比較例24は、弗素化合物の含有量がF換算値で本発明の下限値である0.025質量%を外れているので、アークの安定性が損なわれて、溶接作業性が実用に耐えることができなかった。また脱酸不足となり、ブローホールが発生した。更に、Bの歩留が低下して靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。一方、TiO₂の還元不足のために、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出物の量を確保することができず、フェライトバンドが発生した。

30

【0088】

比較例25は、弗素化合物の含有量がF換算値で本発明の上限値である0.55質量%を超えているので、スラグの流動性が過度に大きくなってビードの被包性が損なわれ、立向溶接のビード形状が凸ビードとなり不良となった。

【0089】

比較例26は、Si及びMn含有量がいずれも本発明の夫々の下限値である0.06質量%及び0.55質量%を外れているので、溶接金属の粘性が不足して立向溶接のビード形状が凸型となり不良となった。また脱酸不足となり、ブローホールが発生した。更に、Bの歩留が低下して靱性が劣化し、所定の衝撃性能を満足できなかった。更にまた、TiO₂の還元不足のために、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出量が確保されず、フェライトバンドが発生した。

40

【0090】

比較例27は、TiO₂含有量が本発明の下限値である4.2質量%を外れており、且つ弗素化合物の含有量がF換算値で本発明の上限値である0.55質量%を超えているので、アークの安定性が劣化すると共に、ビードの被包性が損なわれて、立向溶接のビード形

50

状が凸型となり不良となった。またTiO₂含有量が少なかったために、還元生成するTi量が少なく、フェライトバンドの形成を抑制するTiNの析出物の量を確保することができず、フェライトバンドが発生した。

【0091】

比較例28は、Al及びN含有量がいずれも本発明の夫々の上限値である0.50質量%及び0.035質量%を超えているので、スラグ剥離性が劣化すると共に、ブローホールが発生した。またAl含有量の過多に起因して溶接金属が硬化したために、引張強度が過度に大きくなり、またN含有量の過多に起因して固溶Nの量が増加して、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0092】

比較例29は、B及びN含有量がいずれも本発明の夫々の上限値である0.020質量%及び0.035質量%を超えているので、スラグ剥離性が劣化すると共に、ブローホールが発生した。またN含有量の過多に起因して固溶Nの量が増加して、靱性が劣化して、所定の衝撃性能を満足できなかった。

【0093】

上述した比較例1乃至29のフラックス入りワイヤに対して、実施例1乃至35のフラックス入りワイヤは、C、Si、Mn、Cr、Mo、Mg、N及びB含有量が、本発明の成分組成の規定値を満足しており、TiO₂及び弗素化合物がフラックス中に含有されており、且つTiO₂含有量及び弗素化合物の含有量のF換算値がいずれも本発明の成分組成の規定値を満足しており、しかもAl、Nb及びV含有量がいずれも本発明の成分組成の規制値以下となっている。その結果、実施例1乃至35のフラックス入りワイヤを使用した試験においてはいずれも、放射線透過性能が良好であり、PWHTの後の引張強度及び靱性は優れており、また長時間、高温のPWHTの後でもフェライトバンドの発生は全く認められず、全て合格となった。また、実施例1乃至10、実施例12乃至25、及び実施例29乃至35は、Ti及び/又はZrが含有されており、その含有量は夫々Ti及び/又はZrが、本発明における好ましい範囲の含有量を満足しているため、他の実施例と比較して、靱性が一層優れている。更に、実施例5を除く実施例は全て、Mn含有量が、本発明における好ましいMn含有量の上限値である1.45質量%以下となっているので、立向溶接のビード形状が極めて良好であった。

【0094】

更に、実施例1乃至6、8、9、19、20、34及び35は、Total Ti含有量/N含有量の値が250乃至500の範囲内にあるので、他の実施例を比較して靱性がより一層優れていた。この状況を図2に示す。これは実施例について整理したTotal Ti含有量/N含有量とシャルピー衝撃値_{2mmV E₁₈} (Avg.)との関係を示すグラフである。

【0095】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、長時間、高温のPWHTを受けても、フェライトバンドの発生が抑制され、このため引張強度の低下が防止され、且つ靱性が優れた溶接金属を得ることができる。しかも、本発明により、下向姿勢のみならず、立向及び上向姿勢においても溶接作業性が良好である低合金耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例及び比較例における被溶接材の開先形状を示す図である。

【図2】実施例についてのTotal Ti含有量/N含有量の値とシャルピー衝撃値_{2mmV E₁₈} (Avg.)との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 ; 鋼板
- 2 ; 裏当材
- 3 ; 溶着金属

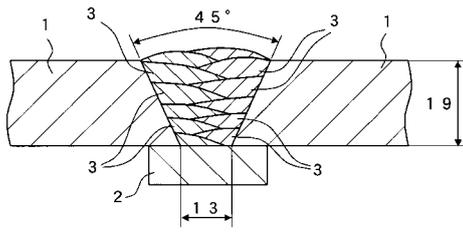
10

20

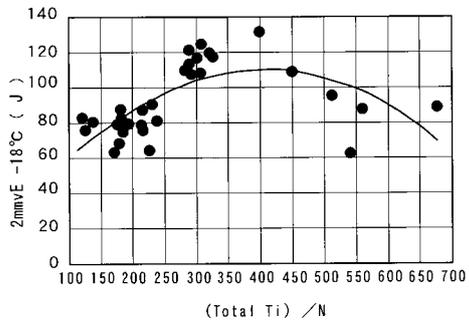
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 山下 賢

神奈川県藤沢市宮前字裏河内100番1 株式会社神戸製鋼所藤沢事業所内

審査官 近野 光知

(56)参考文献 特開2001-314996(JP,A)

特開平08-010982(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 35/00~35/40