

明 細 書

発明の名称： ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ

技術分野

[0001] 本発明は、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。より詳しくは、全姿勢溶接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。

背景技術

[0002] 海洋構造物分野においては、エネルギー資源開発を進める海域の大水深化、北極海などの極限海域への資源探査・採掘域の拡大及び設備の大型化が進行している。このような技術動向を背景として、海洋構造物の設計では高強度化及び高靱性化が進み、溶接継手に対する要求性能もより厳しいものとなっている。

[0003] 一方、溶接材料については、高能率化の観点から、全姿勢溶接用のフラックス入りワイヤが求められている。しかしながら、従来の全姿勢用のフラックス入りワイヤは、得られる溶接金属中の酸素量が高いため、これを用いてガスシールドアーク溶接した場合、溶接継手部の低温靱性を確保することが難しい。

[0004] また、従来、全姿勢溶接用のフラックス入りワイヤにおいて、溶接金属の低温靱性向上を目的とし、 MgO の含有量と TiO_2 の含有量との比を特定の範囲とすると共に、スラグ造滓剤との関係を特定したものが提案されている（特許文献1参照）。この特許文献1には、実施例のフラックス入りワイヤを用いて溶接を行った場合、0.2%耐力が620MPa以上で、 $-60^{\circ}C$ でのシャルピー衝撃値が27J以上の溶接金属が得られ、溶接作業性も良好であることが示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開2008-87043号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 近年、海洋構造物などの大型構造物には、強度や低温靱性に加えて、耐高温割れ性も求められているが、従来のフラックス入りワイヤでは、全姿勢溶接において、全ての要求を満たす溶接金属を得ることは難しい。

[0007] そこで、本発明は、全姿勢溶接において、拡散水素量を抑えることによる耐低温割れ性に加えて、耐高温割れ性にも優れ、かつ -60°C 程度での低温靱性に優れた溶接金属が得られる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主目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係るガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、鋼製外皮内にフラックスが充填されたガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤであって、ワイヤ全質量あたり、 TiO_2 ：3～8質量%、 Si 、 Si 酸化物及び Si 化合物のうち少なくとも1種： Si 換算値の合計で0.1～0.5質量%、 C ：0.01～0.15質量%、 Mn ：0.5～3.0質量%、 Mo ：0.01～0.80質量%、 Ni ：1～3質量%、金属 Mg 及び Mg 合金のうち少なくとも1種： Mg 換算値の合計で0.2～1.0質量%、 F 化合物： F 換算値の合計で0.01～0.400質量%、 K 化合物： K 換算値の合計で0.01～0.400質量%、 Na 化合物： Na 換算値の合計で0.005～0.400質量%、 B 及び B 化合物： B 換算値の合計で0.001～0.005質量%、並びに Fe ：80質量%以上を含有すると共に、金属 Ti 及び Ti 合金： Ti 換算値の合計で0.01質量%以下、金属 Al 及び Al 合金： Al 換算値の合計で0.05質量%以下、並びに V ：0.010質量%未満に規制し、かつ、鋼製外皮全質量あたり、 Ti ：0.011質量%以下に規制したものである。

このガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、鋼製外皮全質量あたり、 Al ：0.05質量%以下に規制してもよい。

更に、鋼製外皮全質量あたり、 B ：0.005質量%以下に規制してもよ

い。

一方、ワイヤ全質量あたりの金属Ti及びTi合金の総含有量のTi換算値を[Ti]、B含有量を[B]、金属Al及びAl合金の総含有量のAl換算値を[Al]としたとき、これらの関係が下記数式1を満たす組成とすることもできる。

[0009] [数1]

$$1000 \times \{ [Ti] - ([B])^{0.9} \}^2 / [Al] \leq 2.00$$

[0010] 本発明のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、S : 0.005～0.030質量%、ZrO₂ : 0.05～1.00質量%及びAl₂O₃ : 0.01～1.00質量%のうち少なくとも1種を含有することもできる。

また、P : 0.030質量%以下に規制してもよい。

更に、Nb : 0.010質量%未満に規制してもよい。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、全姿勢溶接において、耐高温割れ性及び耐低温割れ性のいずれも優れた溶接金属を形成することができる。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明を実施するための形態について、詳細に説明する。本実施形態の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たものであり、その外径は、例えば0.9～1.6mmである。また、フラックス充填率は、ワイヤ中の各成分が本発明の範囲内であれば、任意の値に設定することができるが、ワイヤの伸線性及び溶接時の作業性（送給性など）の観点から、ワイヤ全質量の10～20質量%とすることが好ましい。

[0013] 本実施形態のフラックス入りワイヤは、ワイヤ全質量あたり、TiO₂ : 3～8質量%、Si、Si酸化物及びSi化合物のうち少なくとも1種 : Si換算値の合計で0.1～0.5質量%、C : 0.01～0.15質量%、Mn : 0.5～3.0質量%、Mo : 0.01～0.80質量%、Ni : 1～3質量%、金属Mg及びMg合金のうち少なくとも1種 : Mg換算値の合計

で0.2～1.0質量%、F化合物：F換算値の合計で0.01～0.400質量%、K化合物：K換算値の合計で0.01～0.400質量%、Na化合物：Na換算値の合計で0.005～0.400質量%、B及びB化合物：B換算値の合計で0.001～0.005質量%を含有する。

[0014] また、このフラックス入りワイヤは、ワイヤ全質量あたり、金属Ti及びTi合金：Ti換算値の合計で0.01質量%以下、金属Al及びAl合金：Al換算値の合計で0.05質量%以下、V：0.010質量%未満に規制されている。なお、本実施形態のフラックス入りワイヤにおける上記以外の成分、即ち残部は、Fe及び不可避免的不純物である。

[0015] また、本実施形態のフラックス入りワイヤでは、外皮成分のうち、Tiを、外皮全質量あたり0.011質量%以下に規制している。本実施形態のフラックス入りワイヤは、ガスシールドアーク溶接に用いられ、全姿勢溶接に適用することができる。

[0016] 次に、本実施形態のフラックス入りワイヤに含有される各成分の数値限定理由について説明する。

[0017] (鋼製外皮)

鋼製外皮（以下、単に外皮ということもある。）に含まれる添加元素は、フラックス内に含まれる添加元素と比較して溶融時の酸化消耗が少ないため、一般に溶接金属に与える影響が大きい。このため、酸化物を形成する各種微量元素を以下のように規制する。

[0018] [Ti：0.011質量%以下]

外皮のTi含有量が0.011質量%を超えると、溶接時に炭化物を生成しやすくなり、溶接金属の靱性が著しく劣化する。よって、外皮に含有されるTiは、外皮全質量あたり0.011質量%以下に規制する。なお、外皮のTi含有量は、溶接金属の靱性向上の観点から、外皮全質量あたり、0.010質量%以下とすることが好ましい。

[0019] [Al：0.05質量%以下]

外皮にAlが多く含まれていると、溶接時に酸化物を形成し、溶接金属の

韌性劣化を招くことがある。このため、溶接金属の韌性劣化防止の観点から、外皮のAl含有量は、外皮全質量あたり0.05質量%以下とすることが好ましく、0.030質量%以下とすることがより好ましい。

[0020] [B: 0.005質量%以下]

外皮中のBは、微量でも割れ発生の原因となる。このため、溶接金属の耐割れ性向上の観点から、外皮のB含有量は、外皮全質量あたり0.005質量%以下とすることが好ましく、0.001質量%以下とすることがより好ましい。

[0021] (ワイヤ全体)

[TiO₂: 3~8質量%]

TiO₂は、スラグの主成分であり、TiO₂含有量がワイヤ全質量あたり3質量%未満の場合、下向以外の姿勢（立向や上向など）での溶接が困難になり、全姿勢溶接性を確保することができなくなる。一方、TiO₂含有量がワイヤ全質量あたり8質量%を超えると、溶接金属中にTiO₂が微粒子として残留し、溶接金属の韌性が劣化する。よって、TiO₂含有量は、ワイヤ全質量あたり、3~8質量%とする。

[0022] [Si、Si酸化物及びSi化合物: 0.1~0.5質量%]

本実施形態のフラックス入りワイヤは、Si、Si酸化物及びSi化合物のうち少なくとも1種を含有する。金属Siには、溶融池の粘性を下げる効果があり、また、溶融スラグ中では、脱酸作用により、流動性を増加させる効果があるSiO₂が生成する。なお、酸化物や化合物の形態で添加されたSiは、溶融スラグ界面において溶融金属との酸化還元反応により還元され、溶融金属中では金属Siとして存在する。

[0023] ただし、Si、Si酸化物及びSi化合物の総含有量が、Si換算値で、ワイヤ全質量あたり0.1質量%未満の場合、溶融金属の粘性が増加し、母材へのなじみが低下すると共に、脱酸効果が不足し、溶接金属にブローホールが発生する。一方、Si、Si酸化物及びSi化合物の総含有量が、Si換算値で、0.5質量%を超えると、溶接金属の強度が過度に増加し、割れ

が発生しやすくなる。よって、S i、S i 酸化物及びS i 化合物の総含有量は、S i 換算値で、0.1～0.5 質量%含有する。

[0024] [C : 0.01～0.15 質量%]

Cは、溶接金属の強度を向上させる効果を有する。ただし、C含有量がワイヤ全質量あたり0.01 質量%未満の場合、その効果が十分に得られず、溶接金属の耐力が低下する。一方、C含有量がワイヤ全質量あたり0.15 質量%を超えると、溶接金属にマルテンサイトが島状に生成し、靱性が劣化する。よって、C含有量は、ワイヤ全質量あたり0.01～0.15 質量%とする。

[0025] [Mn : 0.5～3.0 質量%]

Mnは、溶接金属の脱酸を促進すると共に、溶接金属の靱性及び強度を高める効果がある。ただし、Mn含有量がワイヤ全質量あたり0.5 質量%未満の場合、前述した効果が不足し、溶接金属にブローホールが発生したり、溶接金属の靱性が劣化する。一方、Mn含有量が、ワイヤ全質量あたり3.0 質量%を超えると、溶接金属の強度が過度に増加し、割れが発生しやすくなる。よって、Mn含有量は、ワイヤ全質量あたり0.5～3.0 質量%とする。

[0026] [Mo : 0.01～0.80 質量%]

Moは、溶接金属の強度向上に寄与する元素であり、Mo含有量が、ワイヤ全質量あたり0.01 質量%未満の場合、溶接金属の引張強さが不足する。一方、Mo含有量が、ワイヤ全質量あたり0.80 質量%を超えると、溶接金属の強度が過度に増加し、割れが発生しやすくなる。よって、Mo含有量は、ワイヤ全質量あたり0.01～0.80 質量%とする。

[0027] [Ni : 1～3 質量%]

Niは、溶接金属の靱性確保に寄与する元素であり、Ni含有量が、ワイヤ全質量あたり1 質量%未満の場合、溶接金属の靱性が劣化する。一方、Ni含有量が、ワイヤ全質量あたり3 質量%を超えると、溶接金属に高温割れが発生しやすくなる。よって、Ni含有量は、ワイヤ全質量あたり、1～3

質量%とする。

[0028] [金属Mg及びMg合金：0.2～1.0質量%]

Mgは、脱酸作用のある元素であり、本実施形態のフラックス入りワイヤは、Mg源として金属Mg及びMg合金のうち少なくとも1種を含有する。ただし、金属Mg及びMg合金の総含有量が、Mg換算値で、ワイヤ全質量あたり0.2質量%未満の場合、脱酸不足となり、溶接金属にブローホールが発生したり靱性が劣化する。一方、金属Mg及びMg合金の総含有量が、Mg換算値で、ワイヤ全質量あたり1.0質量%を超えると、溶接金属の強度が過度に増加し、割れが発生しやすくなる。

[0029] よって、Mg含有量は、ワイヤ全質量あたり0.2～1.0質量%とする。なお、ここで規定する金属Mg及びMg合金の総含有量は、王水処理して測定した酸可溶性Mgの量から算出した値である。

[0030] [F化合物：0.010～0.400質量%]

F化合物は、溶接時に水素(H)と結合してHFを形成し、溶接金属の拡散水素量を低減する効果があり、本実施形態のフラックス入りワイヤは、1種又は2種以上のF化合物を含有する。本実施形態のフラックス入りワイヤに添加されるF化合物の具体例としては、CaF、BaF₂、NaF、K₂SiF₆、SrF₂、AlF₃、MgF₂、LiFなどが挙げられる。尚、K₂SiF₆において、K₂はK化合物のK換算値に、SiはSi化合物のSi換算値に、F₆はF化合物のF換算値に換算される。

[0031] ただし、F化合物の総含有量が、F換算値で、ワイヤ全質量あたり0.01質量%未満の場合、溶接金属の拡散水素量が増加し、低温割れが発生しやすくなる。一方、F化合物の総含有量が、F換算値で、ワイヤ全質量あたり0.400質量%を超えると、ワイヤが吸湿しやすくなるため、溶接金属の拡散水素量が増加し、低温割れが発生しやすくなる。よって、F化合物の総含有量は、F換算値で、ワイヤ全質量あたり0.010～0.400質量%とする。

[0032] [K化合物：0.010～0.400質量%]

Kは、アークを安定させる効果があり、本実施形態のフラックス入りワイヤは、1種又は2種以上のK化合物を含有する。本実施形態のフラックス入りワイヤに添加されるK化合物の具体例としては、 K_2O 、 KF 、 K_2SiF_6 などが挙げられる。尚、 KF のKはK化合物のK換算値に、FはF化合物のF換算値に換算される。また、 K_2SiF_6 については、上記のとおりである。

[0033] ただし、K化合物の総含有量が、K換算値で、ワイヤ全質量あたり0.01質量%未満の場合、前述した効果が不十分となり、アークが不安定になる。一方、K化合物の総含有量が0.400質量%を超えると、アークは安定するが、ワイヤの耐吸湿性が低下するため、溶接金属の拡散水素量が増加し、低温割れが発生しやすくなる。よって、K化合物の総含有量は、K換算値で、ワイヤ全質量あたり0.010～0.400質量%とする。

[0034] [Na化合物：0.005～0.400質量%]

Naは、前述したKと同様に、アークを安定させる効果があり、本実施形態のフラックス入りワイヤは、1種又は2種以上のNa化合物を含有する。本実施形態のフラックス入りワイヤに添加されるNa化合物の具体例としては、 NaF 、 Na_2O 、 Na_2CO_3 などが挙げられる。尚、 NaF のNaはNa化合物のNa換算値に、FはF化合物のF換算値に換算される。

[0035] ただし、Na化合物の総含有量が、Na換算値で、ワイヤ全質量あたり0.005質量%未満の場合、前述した効果が不十分となり、アークが不安定になる。一方、Na化合物の総含有量が、Na換算値で、ワイヤ全質量あたり0.400質量%を超えると、アークは安定するが、ワイヤの耐吸湿性が低下するため、溶接金属の拡散水素量が増加し、低温割れが発生しやすくなる。よって、Na化合物の総含有量は、Na換算値で、ワイヤ全質量あたり0.005～0.400質量%とする。

[0036] [B及びB化合物：0.001～0.005質量%]

Bは、旧オーステナイト(γ)粒界に偏析し、溶接金属の靱性を向上させる効果がある。ただし、B及びB化合物の総含有量が、B換算値で、ワイヤ

全質量あたり 0.001 質量%未満の場合、その効果が十分に得られない。一方、B 及び B 化合物の総含有量が、B 換算値で、ワイヤ全質量あたり、0.005 質量%を超えると、溶接金属に高温割れ（凝固割れ）が発生しやすくなる。よって、B 含有量は、ワイヤ全質量あたり、0.001～0.005 質量%とする。なお、B 及び B 化合物の総含有量は、耐高温割れ性向上の観点から、ワイヤ全質量あたり、B 換算値で、0.004 質量%以下とすることが好ましい。なお B 化合物としては $\text{Fe}-\text{B}$ 、 $\text{Fe}-\text{Si}-\text{B}$ 、 B_2O_3 および B_2O_3 を含む複合酸化物などが挙げられる。

[0037] [金属 Ti 及び Ti 合金：0.01 質量%以下]

Ti は、金属又は合金の形態、及び酸化物や金属間化合物などの化合物の形態で添加される。しかしながら、Ti 源のうち、金属 Ti 及び Ti 合金の総含有量が、Ti 換算値で、ワイヤ全質量あたり 0.01 質量%を超えると、溶接金属中の固溶 Ti 量が増加するため、再熱部において TiC が析出し、韌性が低下する。よって、金属又は合金の形態で添加される Ti の総含有量は、ワイヤ全質量あたり 0.01 質量%以下に規制する。なお、溶接金属の韌性向上の観点から、金属 Ti 及び Ti 合金の総含有量は、ワイヤ全質量あたり 0.004 質量%以下とすることが好ましい。

[0038] [金属 Al 及び Al 合金：0.05 質量%以下]

Al は、金属又は合金の形態、及び酸化物や金属間化合物などの化合物の形態で添加されるが、金属 Al 及び Al 合金の総含有量が、Al 換算値で、ワイヤ全質量あたり 0.05 質量%を超えると、溶接金属中に粗大な酸化物が多数生成し、韌性が劣化する。よって、金属 Al 及び Al 合金の総含有量は、Al 換算値で、ワイヤ全質量あたり 0.05 質量%以下に規制する。なお、溶接金属の韌性向上の観点から、金属 Al 及び Al 合金の総含有量は、ワイヤ全質量あたり 0.030 質量%以下とすることが好ましい。

[0039] [V：0.010 質量%未満]

V は、粒界に偏析し、粒界破壊の原因となる元素であり、V 含有量が、ワイヤ全質量あたり 0.010 質量%以上の場合、溶接金属の韌性が劣化する

。よって、V含有量は、ワイヤ全質量あたり、0.010質量%未満に規制する。なお、溶接金属の靱性向上の観点から、V含有量は、ワイヤ全質量あたり0.005質量%以下とすることが好ましい。

[0040] [残部]

本実施形態のフラックス入りワイヤの成分組成における残部は、Fe、並びにCu、Cr、Ca、Nb、Liなどの合金剤及びその化合物、並びにアーク安定剤やスラグ形成剤、P、Sb、Asなどの不可避的不純物である。なお、前述した各元素が酸化物や窒化物として添加された場合は、本実施形態のフラックス入りワイヤの残部には、OやNも含まれる。また、本実施形態のフラックス入りワイヤでは、溶着量を確保する観点から、Feを、ワイヤ全質量あたり、80質量%以上含有する。

[0041] [S : 0.005～0.030質量%]

Sは、溶接金属の靱性を低下させるため、一般には、その含有量を低減する規制元素として扱われているが、ビード止端部のなじみをよくする効果があるため、積極的に添加することもできる。ただし、S含有量がワイヤ全質量あたり0.005質量%未満の場合、前述した効果が得られず、ビードのなじみ性が低下する。一方、S含有量がワイヤ全質量あたり0.030質量%を超えると、溶接金属の耐高温割れ性が低下する。よって、Sを添加する場合は、その含有量がワイヤ全質量あたり0.005～0.030質量%になるようにする。

[0042] [ZrO₂ : 0.05～1.00質量%]

ZrO₂は、ビード形状を向上させる効果があるため、必要に応じて添加することができる。ただし、ZrO₂含有量が、ワイヤ全質量あたり0.05質量%未満の場合、前述した効果が十分に得られない。一方、ZrO₂含有量が、ワイヤ全質量あたり1.00質量%を超えると、ビード形状が凸になる。よって、ZrO₂を添加する場合は、その含有量がワイヤ全質量あたり0.05～1.00質量%になるようにする。

[0043] [Al₂O₃ : 0.01～1.00質量%]

Al_2O_3 は、ビード形状を向上させる効果があるため、必要に応じて添加することができる。ただし、 Al_2O_3 含有量が、ワイヤ全質量あたり0.01質量%未満の場合、前述した効果が十分に得られない。一方、 Al_2O_3 含有量が、ワイヤ全質量あたり1.00質量%を超えると、ビードのなじみ性が低下する。よって、 Al_2O_3 を添加する場合は、その含有量がワイヤ全質量あたり0.01～1.00質量%になるようにする。

[0044] [P : 0.030質量%以下]

Pは、不可避的不純物であるが、P含有量がワイヤ全質量あたり0.030質量%を超えると、溶接金属の耐高温割れ性が低下することがある。よって、P含有量は、ワイヤ全質量あたり0.030質量%以下に規制することが好ましい。

[0045] [Nb : 0.010質量%未満]

Nbは、合金剤であるが、粒界に偏析しやすいため、Nb含有量が0.010質量%以上になると、粒界破壊が起こりやすくなり、溶接金属の靱性劣化を招く。よって、Nb含有量は、ワイヤ全質量あたり0.010質量%未満にすることが好ましい。

[0046] [Ti - B - Alの関係]

更に、本実施形態のフラックス入りワイヤは、Ti、B、Alの各元素の含有量の関係が、下記数式2を満たすことが好ましい。下記数式2における[Ti]はワイヤ全質量あたりの金属Ti及びTi合金の総含有量のTi換算値であり、[B]はワイヤ全質量あたりのBおよびB化合物の総含有量のB換算値、[Al]はワイヤ全質量あたりの金属Al及びAl合金の総含有量のAl換算値である。

[0047] [数2]

$$1000 \times \{ [Ti] - ([B])^{0.9} \}^2 / [Al] \leq 2.00$$

[0048] Ti、B、Alの各元素の含有量の関係が上記数式2を満たす組成にすることにより、溶接金属のシャルピー衝撃値が向上すると共に、耐高温割れ性を向上させることができる。

[0049] 以上詳述したように、本実施形態のフラックス入りワイヤは、ワイヤの成分組成を特定すると共に、外皮中のTi含有量を規制しているため、低温割れの原因となる溶接金属の拡散水素量を低減すると共に、耐高温割れ性を向上させることができる。その結果、全姿勢溶接において、耐低温割れ性及び耐高温割れ性の両方に優れた溶接金属が得られる。

[0050] [製造方法]

本実施形態のフラックス入りワイヤの製造方法は、特に限定されるものではないが、例えば、以下に示す方法で製造することができる。外皮を構成する鋼帯を、長手方向に送りながら成形ロールにより成形し、U字状のオープン管にする。所定の化学組成となるように、酸化物と、金属又は合金と、Fe粉などを所要量配合したフラックスを外皮に充填した後、断面が円形になるように加工する。その後、冷間加工により伸線し、例えば1.0～2.0mmのワイヤ径とする。なお、冷間加工途中に焼鈍を施してもよい。

実施例

[0051] 以下、本発明の実施例及び比較例を挙げて、本発明の効果について具体的に説明する。本実施例においては、成分組成が下記表1に示す範囲にある炭素鋼により形成した管状の外皮（直径1.2mm）にフラックスを充填し、実施例及び比較例のフラックス入りワイヤを作製した。なお、下記表1に示す外皮成分の残部は、Fe及び不可避免の不純物である。その際、フラックスの充填率は、ワイヤ全質量あたり、12.5～14.5質量%の範囲になるようにした。

[0052] [表1]

外皮成分の範囲(質量%)										
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	Al	B
≤0.10	≤0.10	0.10-0.90	≤0.03	≤0.03	≤0.20			≤0.05	≤0.05	≤0.005

[0053] 下記表2及び表3に、実施例及び比較例の各フラックス入りワイヤの外皮に含まれるTi、Al及びBの量、並びにワイヤ全体の成分組成を示す。なお、下記表2及び表3に示すワイヤ成分の残部は不可避免の不純物である。また、Mg、Ti、Alのsは、「soluble」、つまり酸溶解性のもの

を意味し、例えば、 $s. Mg$ は金属 Mg 及び Mg 合金の Mg 換算値を示す。

また、 $F(Ti, B, Al)$ は、「 $1000 \times \{ [Ti] - ([B])^{0.9} \}^2 / [Al]$ 」の値を示す。

[0054]

[表2]

No.	外皮(質量%)			フイヤ成分(質量%)																				F(Ti,B,Al)		
	Ti	Al	B	TiO ₂	Total Si	C	Mn	Mo	Ni	S,Mg	Total F	Total K	Total Na	B	S,Ti	S,Al	Fe	V	S	P	Nb	ZrO ₂	Al ₂ O ₃			
1	0.011	0.010	0.0020	6.22	0.41	0.14	2.4	0.11	2.1	0.47	0.270	0.060	0.017	0.0015	0.009	0.004	87.0	0.0009	0.004	0.007	0.0008	0.55	0.200	9.38		
2	0.003	0.010	0.0010	7.99	0.25	0.07	2.4	0.33	1.8	0.50	0.220	0.200	0.242	0.0030	0.004	0.010	84.0	0.0029	0.018	0.012	0.0076	0.71	0.319	0.19		
3	0.004	0.013	0.0000	3.01	0.28	0.12	2.4	0.29	2.5	0.65	0.190	0.210	0.051	0.0031	0.003	0.005	89.4	0.0030	0.017	0.010	0.0036	0.17	0.70	1.27		
4	0.002	0.006	0.0000	6.63	0.49	0.12	2.1	0.21	2.3	0.69	0.190	0.280	0.225	0.0031	0.002	0.019	85.3	0.0041	0.018	0.007	0.0039	0.79	0.62	0.65		
5	0.004	0.007	0.0000	4.35	0.10	0.05	2.2	0.55	1.6	0.76	0.270	0.220	0.201	0.0027	0.001	0.028	88.9	0.0035	0.017	0.014	0.0068	0.47	0.22	0.54		
6	0.008	0.004	0.0010	6.62	0.23	0.14	1.4	0.61	1.6	0.71	0.160	0.220	0.246	0.0037	0.003	0.009	87.4	0.0063	0.011	0.010	0.0077	0.51	0.13	1.34		
7	0.006	0.005	0.0000	4.41	0.30	0.01	2.5	0.22	1.8	0.52	0.230	0.280	0.247	0.0034	0.006	0.012	88.1	0.0070	0.011	0.015	0.0054	0.71	0.59	0.00		
8	0.001	0.014	0.0000	6.91	0.30	0.07	2.9	0.60	2.0	0.59	0.280	0.290	0.193	0.0033	0.001	0.012	85.4	0.0062	0.009	0.017	0.0040	0.09	0.29	1.95		
9	0.001	0.007	0.0000	5.89	0.34	0.07	0.6	0.44	2.1	0.77	0.100	0.240	0.240	0.0027	0.003	0.024	88.0	0.0077	0.019	0.012	0.0062	0.47	0.69	0.15		
10	0.004	0.013	0.0010	6.65	0.23	0.07	1.5	0.79	1.8	0.77	0.150	0.200	0.158	0.0028	0.005	0.018	86.6	0.0050	0.019	0.006	0.0056	0.61	0.24	0.00		
11	0.004	0.010	0.0010	5.12	0.32	0.07	1.9	0.02	1.8	0.69	0.220	0.120	0.204	0.0020	0.002	0.016	88.6	0.0038	0.012	0.016	0.0058	0.23	0.61	0.19		
12	0.005	0.006	0.0010	4.26	0.22	0.11	1.6	0.18	2.9	0.72	0.280	0.300	0.191	0.0037	0.004	0.006	88.2	0.0074	0.011	0.016	0.0058	0.40	0.56	1.02		
13	0.005	0.012	0.0000	6.77	0.31	0.12	1.5	0.37	1.1	0.73	0.220	0.230	0.149	0.0022	0.003	0.026	87.6	0.0019	0.014	0.008	0.0078	0.48	0.36	0.04		
14	0.005	0.004	0.0010	6.86	0.36	0.05	1.6	0.18	1.6	0.99	0.270	0.270	0.089	0.0023	0.004	0.024	86.6	0.0077	0.010	0.006	0.0041	0.74	0.38	0.00		
15	0.002	0.005	0.0010	6.57	0.34	0.05	1.2	0.26	2.0	0.21	0.210	0.150	0.052	0.0029	0.004	0.011	88.3	0.0053	0.011	0.014	0.0071	0.29	0.27	0.13		
16	0.009	0.011	0.0010	4.25	0.24	0.09	2.0	0.55	2.0	0.61	0.390	0.160	0.112	0.0035	0.001	0.017	88.6	0.0016	0.019	0.014	0.0030	0.19	0.70	1.57		
17	0.007	0.008	0.0010	4.53	0.29	0.10	1.6	0.32	2.4	0.67	0.020	0.160	0.047	0.0035	0.005	0.022	89.2	0.0036	0.016	0.017	0.0057	0.15	0.42	0.06		
18	0.001	0.015	0.0010	4.50	0.31	0.09	1.1	0.09	2.4	0.68	0.300	0.380	0.031	0.0027	0.005	0.020	89.3	0.0037	0.014	0.017	0.0033	0.46	0.28	0.00		
19	0.008	0.008	0.0010	6.50	0.29	0.11	2.3	0.27	2.0	0.70	0.250	0.020	0.087	0.0021	0.006	0.006	86.0	0.0055	0.013	0.013	0.0057	0.63	0.77	0.74		
20	0.003	0.014	0.0010	6.29	0.29	0.07	1.5	0.62	2.4	0.64	0.140	0.280	0.399	0.0032	0.005	0.015	86.0	0.0079	0.019	0.018	0.0007	0.54	0.73	0.03		
21	0.002	0.006	0.0010	6.80	0.28	0.07	2.5	0.07	2.1	0.54	0.220	0.180	0.007	0.0034	0.005	0.027	86.1	0.0045	0.011	0.013	0.0027	0.59	0.44	0.04		
22	0.002	0.012	0.0010	6.56	0.29	0.06	2.0	0.61	1.6	0.58	0.150	0.230	0.162	0.0048	0.005	0.019	86.8	0.0049	0.010	0.013	0.0056	0.68	0.22	0.53		
23	0.005	0.014	0.0010	4.68	0.35	0.10	1.2	0.12	1.8	0.79	0.260	0.190	0.012	0.0015	0.005	0.019	89.5	0.0032	0.014	0.010	0.0049	0.64	0.31	0.24		
24	0.004	0.009	0.0000	6.49	0.28	0.11	1.6	0.62	2.0	0.54	0.180	0.250	0.226	0.0036	0.009	0.016	87.2	0.0038	0.012	0.014	0.0065	0.36	0.07	0.45		
25	0.008	0.009	0.0000	6.12	0.38	0.08	1.0	0.49	1.6	0.65	0.270	0.300	0.155	0.0031	0.005	0.045	88.1	0.0008	0.017	0.018	0.0040	0.59	0.18	0.01		
26	0.004	0.013	0.0010	7.99	0.29	0.09	2.9	0.75	2.8	0.57	0.300	0.180	0.224	0.0037	0.003	0.026	81.0	0.0059	0.013	0.007	0.0027	0.69	0.64	0.47		
27	0.003	0.009	0.0010	5.78	0.37	0.06	1.5	0.16	2.0	0.69	0.130	0.170	0.017	0.0030	0.002	0.010	88.6	0.0090	0.015	0.011	0.0031	0.08	0.38	1.13		
28	0.008	0.007	0.0010	6.11	0.35	0.07	1.7	0.18	1.7	0.52	0.160	0.260	0.191	0.0030	0.001	0.015	88.0	0.0048	0.031	0.008	0.0008	0.12	0.58	1.27		
29	0.002	0.014	0.0010	5.13	0.36	0.09	1.1	0.26	1.7	0.76	0.250	0.270	0.130	0.0031	0.004	0.018	89.0	0.0032	0.004	0.008	0.0019	0.42	0.45	0.13		
30	0.008	0.012	0.0000	4.81	0.31	0.11	2.0	0.19	1.9	0.66	0.180	0.240	0.077	0.0025	0.002	0.029	88.6	0.0018	0.011	0.031	0.0010	0.52	0.31	0.22		
31	0.003	0.011	0.0010	6.60	0.29	0.11	1.8	0.08	1.7	0.65	0.110	0.190	0.146	0.0030	0.003	0.019	87.8	0.0072	0.017	0.019	0.010	0.32	0.16	0.29		
32	0.008	0.004	0.0000	6.58	0.38	0.08	1.6	0.36	2.5	0.68	0.250	0.200	0.059	0.0036	0.004	0.029	85.6	0.0022	0.017	0.012	0.0042	1.05	0.59	0.19		
33	0.009	0.007	0.0000	4.90	0.36	0.08	2.3	0.41	1.8	0.67	0.140	0.150	0.131	0.0022	0.002	0.010	88.1	0.0057	0.013	0.014	-	0.04	0.78	0.42		
34	0.001	0.006	0.0010	4.66	0.29	0.06	1.5	0.32	2.0	0.72	0.120	0.250	0.182	0.0024	0.003	0.011	88.2	0.0058	0.017	0.009	0.0053	0.68	1.02	0.17		
35	0.006	0.010	0.0000	4.59	0.34	0.10	1.9	0.48	2.0	0.53	0.240	0.220	0.051	0.0031	0.005	0.007	89.2	0.0026	0.016	-	0.0061	0.28	-	0.04		
36	0.007	0.004	0.0010	6.53	0.30	0.06	1.3	0.24	1.7	0.60	0.270	0.300	0.106	0.0036	0.002	0.009	87.2	0.0032	0.017	0.016	0.0028	0.69	0.67	2.07		
37	0.002	0.014	0.0010	5.13	0.36	0.09	1.1	0.26	1.7	0.76	0.250	0.270	0.130	0.0031	0.004	0.018	89.0	0.0032	-	0.008	0.0019	0.42	0.45	0.13		
38	0.009	0.007	0.0000	4.90	0.36	0.08	2.3	0.41	1.8	0.67	0.140	0.150	0.131	0.0022	0.002	0.010	88.2	0.0057	0.013	0.014	0.0005	-	0.78	0.42		
39	0.009	0.007	0.0000	4.90	0.36	0.08	2.3	0.41	1.8	0.67	0.140	0.150	0.131	0.0022	0.002	0.010	89.0	0.0057	-	-	-	-	-	-	0.42	
40	0.005	0.055	0.0010	4.28	0.30	0.06	2.3	0.49	1.7	0.67	0.200	0.260	0.206	0.0039	0.003	0.044	88.6	0.0049	0.012	0.012	0.0030	0.46	0.42	0.33		
41	0.008	0.012	0.0060	6.88	0.39	0.11	1.1	0.19	1.9	0.77	0.290	0.160	0.104	0.0051	0.004	0.024	87.2	0.0056	0.014	0.015	0.0068	0.78	0.10	0.90		

実施例

[0055] [表3]

No.	外皮(質量%)			ワイヤ成分(質量%)																			F(Ti,B,Al)	
	Ti	Al	B	TiO ₂	Total, Si	C	Mn	Mo	Ni	S, Mg	Total, F	Total, K	Total, Na	B	S, Ti	S, Al	Fe	V	S	P	Nb	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	
42	0.012	0.005	0.0000	4.39	0.38	0.09	1.8	0.34	2.1	0.63	0.140	0.190	0.126	0.0035	0.010	0.006	88.2	0.0036	0.019	0.016	0.0028	0.75	0.78	2.46
43	0.003	0.009	0.000	9.10	0.38	0.05	1.1	0.63	2.4	0.66	0.210	0.120	0.199	0.0023	0.002	0.015	84.5	0.0076	0.010	0.005	0.0054	0.21	0.42	0.33
44	0.006	0.006	0.001	2.50	0.28	0.07	2.3	0.12	2.3	0.68	0.100	0.120	0.083	0.0035	0.005	0.026	90.5	0.0019	0.020	0.016	0.0049	0.58	0.27	0.05
45	0.004	0.007	0.000	5.86	0.65	0.09	2.3	0.50	2.0	0.68	0.120	0.290	0.227	0.0038	0.001	0.018	86.5	0.0061	0.010	0.006	0.0067	0.26	0.44	1.76
46	0.002	0.013	0.000	5.81	0.05	0.07	1.7	0.08	2.1	0.62	0.260	0.140	0.049	0.0028	0.004	0.010	88.2	0.0044	0.011	0.020	0.0009	0.66	0.20	0.11
47	0.004	0.005	0.000	5.78	0.34	0.19	1.9	0.54	2.3	0.59	0.190	0.180	0.245	0.0032	0.003	0.029	86.9	0.0068	0.019	0.017	0.0041	0.33	0.39	0.25
48	0.006	0.013	0.001	5.06	0.34	0.007	1.2	0.16	1.7	0.69	0.110	0.160	0.188	0.0024	0.003	0.006	89.6	0.0014	0.015	0.018	0.0056	0.20	0.54	0.32
49	0.006	0.007	0.000	6.67	0.28	0.08	3.5	0.13	2.3	0.78	0.220	0.190	0.128	0.0023	0.004	0.029	84.9	0.0040	0.010	0.013	0.0072	0.17	0.60	0.00
50	0.005	0.011	0.000	4.04	0.31	0.11	0.4	0.34	2.4	0.56	0.220	0.140	0.048	0.0037	0.002	0.020	90.5	0.0075	0.011	0.013	0.0070	0.50	0.37	1.00
51	0.003	0.007	0.001	5.21	0.26	0.06	2.4	0.91	2.1	0.54	0.100	0.210	0.063	0.0034	0.003	0.025	86.9	0.0064	0.014	0.009	0.0012	0.51	0.69	0.36
52	0.008	0.006	0.000	6.48	0.23	0.12	2.2	0.006	2.0	0.56	0.110	0.240	0.230	0.0033	0.003	0.024	87.0	0.0062	0.014	0.017	0.0009	0.48	0.25	0.34
53	0.004	0.012	0.000	6.40	0.31	0.08	1.8	0.16	3.2	0.57	0.180	0.240	0.204	0.0021	0.003	0.015	86.0	0.0058	0.015	0.008	0.0024	0.39	0.44	0.05
54	0.004	0.007	0.001	6.22	0.37	0.07	1.5	0.52	0.8	0.61	0.170	0.170	0.194	0.0040	0.003	0.017	88.1	0.0041	0.018	0.008	0.0078	0.80	0.44	0.92
55	0.003	0.012	0.000	4.20	0.25	0.05	2.4	0.27	2.0	1.2	0.290	0.250	0.193	0.0026	0.002	0.008	88.2	0.0035	0.009	0.016	0.0029	0.23	0.44	0.92
56	0.008	0.009	0.001	6.54	0.32	0.09	2.0	0.55	1.6	0.01	0.300	0.230	0.110	0.0036	0.006	0.005	87.0	0.0073	0.016	0.008	0.0003	0.59	0.60	0.02
57	0.006	0.007	0.000	6.09	0.37	0.06	1.5	0.09	2.1	0.72	0.600	0.270	0.131	0.0040	0.002	0.028	87.8	0.0052	0.014	0.006	0.0046	0.15	0.04	0.87
58	0.006	0.007	0.001	4.96	0.40	0.12	2.1	0.44	1.8	0.61	0.007	0.190	0.145	0.0023	0.002	0.014	87.8	0.0006	0.013	0.008	0.0064	0.80	0.54	0.35
59	0.009	0.004	0.000	4.17	0.22	0.11	1.6	0.07	2.0	0.62	0.270	0.500	0.036	0.0022	0.004	0.023	89.0	0.0044	0.012	0.008	0.0016	0.62	0.77	0.00
60	0.009	0.010	0.000	6.28	0.34	0.09	1.7	0.54	1.9	0.63	0.280	0.008	0.166	0.0030	0.006	0.011	87.3	0.0046	0.015	0.015	0.0043	0.29	0.44	0.04
61	0.004	0.005	0.000	5.83	0.22	0.10	0.9	0.17	2.4	0.62	0.230	0.100	0.700	0.0025	0.002	0.018	87.7	0.0033	0.013	0.011	0.0057	0.71	0.29	0.36
62	0.004	0.014	0.000	5.81	0.39	0.07	1.8	0.52	2.3	0.50	0.250	0.240	0.002	0.0031	0.006	0.006	87.9	0.0016	0.012	0.014	0.0015	0.15	0.07	0.04
63	0.007	0.005	0.000	4.77	0.39	0.08	1.2	0.59	2.4	0.66	0.210	0.200	0.166	0.0060	0.005	0.029	88.6	0.0075	0.009	0.007	0.0053	0.11	0.57	0.86
64	0.009	0.014	0.000	4.54	0.34	0.11	2.0	0.28	1.7	0.66	0.250	0.190	0.114	0.0006	0.002	0.024	88.9	0.0068	0.013	0.016	0.0046	0.28	0.52	0.02
65	0.004	0.005	0.000	4.27	0.26	0.09	2.1	0.28	2.1	0.57	0.120	0.190	0.033	0.0030	0.011	0.029	89.2	0.0060	0.014	0.006	0.0022	0.35	0.34	1.10
66	0.008	0.014	0.000	4.06	0.27	0.08	1.3	0.40	2.4	0.75	0.270	0.140	0.162	0.0023	0.002	0.08	89.3	0.0026	0.011	0.019	0.0032	0.18	0.59	0.06
67	0.003	0.008	0.000	10.25	0.49	0.12	2.9	0.70	2.9	0.85	0.300	0.310	0.315	0.0025	0.001	0.018	78.8	0.0059	0.011	0.010	0.0064	0.87	0.88	0.70
68	0.001	0.007	0.000	6.00	0.35	0.11	2.2	0.27	2.0	0.57	0.100	0.280	0.191	0.0030	0.003	0.010	86.7	0.0101	0.016	0.008	0.0034	0.78	0.43	0.56

比較例

比較例

[0056] 次に、実施例及び比較例の各フラックス入りワイヤを使用して、下記表4に示す母材に対して、ガスアーク溶接を行った。なお、下記表4に示す母材組成の残部は、Fe及び不可避免的不純物である。

[0057] [表4]

母材	板厚 (mm)	成分組成(質量%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo
JIS G 3128 SHY685	20	0.12	0.26	0.78	0.008	<0.001	0.19	0.43	0.43

[0058] また、溶接条件は、以下の通りである。

- ・ シールドガス：80%Ar－20%CO₂、25リットル/分
- ・ ワイヤ径：φ1.2
- ・ 溶接姿勢：下向
- ・ 開先形状：20°V
- ・ 開先ギャップ：16mm
- ・ 溶接電流：280A
- ・ アーク電圧：29V
- ・ 溶接速度：350mm/分
- ・ 溶接入熱：1.4kJ/mm

[0059] そして、実施例及び比較例の各フラックス入りワイヤを使用したガスアーク溶接により得られた溶接金属について、以下に示す方法で、機械的性質、拡散水素量及び耐高温割れ性を評価した。

[0060] <機械的性質>

溶接金属の機械的性質は、JIS Z 3111に規定される「溶着金属の引張及び衝撃試験方法」に準拠した引張試験及び衝撃試験により評価した。その結果、低温靱性については、－60℃の衝撃値が47J以上、－40℃の衝撃値が69J以上であったものを合格とした。また、0.2%耐力は690MPa以上であったものを合格とした。更に、引張強度TSは、770～930MPaの範囲であったものを合格とした。

[0061] <拡散水素量>

溶接金属の拡散水素量の評価は、J I S Z 3 1 1 8 に準拠した方法により行った。その結果、拡散性水素量が $4 \text{ ml} / 100 \text{ g}$ 以下のものを合格とした。

[0062] <耐高温割れ性>

J I S Z 3 1 5 5 に規定される「C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験方法」に基づいて行った。その際、溶接条件は、電流 200 A 、電圧 20 V 、速度 $200 \text{ mm} / \text{分}$ とした。評価は、割れ率が 10% 以下のものを○、 10% を超え 30% 未満のものを△、 30% 以上のものを×とし、×のものを実施不可と判断した。

[0063] <溶接作業性>

一方、溶接作業性は、上記表 3 に示す母材に対して、立向上進すみ肉溶接を行い、母材とビード間のなじみ、ビード断面形状により評価した。その結果、立向上進溶接が可能でかつ溶接後のビード表面が滑らかである場合を○、立向上進溶接が可能であるが溶接後のビード表面が大きく凹凸が発生した場合を△、スラグ又は溶融金属が垂れ落ちて溶接ができなかった場合又は溶着量不足によりビード表面が大きく凹形状を呈した場合を×とした。

[0064] 溶接条件は、以下の通りである。

- ・ シールドガス： $80\% \text{ Ar} - 20\% \text{ CO}_2$ 、 $25 \text{ リットル} / \text{分}$
- ・ ワイヤ径： $\phi 1.2$
- ・ 開先ギャップ： 0 mm
- ・ 溶接電流： 220 A
- ・ アーク電圧： 24 V
- ・ 溶接速度： $150 \text{ mm} / \text{分}$
- ・ ウィーピング幅： 10 mm
- ・ 溶接入熱： $2.1 \text{ kJ} / \text{mm}$

[0065] 以上の結果を、下記表 5 にまとめて示す。

[0066]

[表5]

	No.	CVN-60 (J)	CVN-40 (J)	0.2%PS	TS (MPa)	[H]d (ml/100g)	作業性 (VUF)	高温割 (BEND)
実施例	1	83	94	739	808	2.8	○	○
	2	47	70	733	815	2.2	○	○
	3	67	90	731	822	3.4	△	○
	4	89	89	741	929	2.4	○	○
	5	47	71	752	869	2.3	△	○
	6	47	69	763	907	1.8	○	○
	7	80	93	696	860	1.6	○	○
	8	82	94	787	926	2.8	○	○
	9	47	71	730	828	3.8	○	○
	10	82	104	757	927	3.8	○	○
	11	63	104	693	771	1.9	○	○
	12	73	98	716	796	2.4	○	△
	13	49	69	725	850	1.8	○	○
	14	81	101	734	854	3.8	○	○
	15	47	70	753	801	3.8	○	○
	16	63	96	714	871	4.0	○	○
	17	76	101	762	868	4.0	○	○
	18	83	101	744	833	3.8	○	○
	19	82	101	709	861	3.0	○-△	○
	20	75	92	714	852	3.9	○	○
	21	54	99	724	872	2.6	○-△	○
	22	76	94	726	839	3.7	○	△
	23	49	70	706	833	2.9	○	○
	24	52	70	715	828	3.0	○	○
	25	47	69	763	825	2.5	○	○
	26	49	71	815	927	2.4	△	△
	27	47	70	738	802	3.4	○	○
	28	62	90	753	816	2.6	○	△
	29	77	98	719	865	3.2	○-△	○
	30	64	99	708	809	3.8	○	△
	31	57	70	728	807	2.3	○	○
	32	73	104	758	799	2.4	○-△	○
	33	59	102	741	807	3.3	○-△	○
	34	65	92	717	846	2.6	○-△	○
	35	76	96	714	864	2.0	○-△	○
	36	47	70	715	870	2.8	○	○
	37	78	99	720	866	3.3	○-△	○
	38	59	102	742	806	3.3	○-△	○
	39	60	101	730	802	3.1	△	○
	40	48	71	734	829	3.1	○	○
	41	55	90	724	845	2.9	○	△
比較例	42	34	56	727	836	2.4	○	○
	43	33	33	720	877	2.8	○	○
	44	74	100	714	844	3.8	×	○
	45	72	102	826	935	3.4	○	○
	46	41	50	711	811	3.6	×	○
	47	15	64	896	991	1.9	○	○
	48	74	101	674	815	3.8	○	○
	49	88	97	803	991	3.0	○	○
	50	37	36	750	807	2.2	○	○
	51	58	98	877	935	2.7	○	○
	52	62	102	679	665	3.5	○	○
	53	79	98	737	853	3.1	○	×
	54	42	39	722	838	3.1	○	○
	55	75	97	801	936	2.0	○	○
	56	42	39	722	810	2.2	○	○
	57	53	98	710	805	5.3	○	○
	58	76	92	731	817	4.5	○	○
	59	80	101	728	815	7.5	○	○
	60	68	97	741	861	3.9	×	○
	61	90	90	722	875	7.3	○	○
	62	54	93	763	840	3.4	×	○
	63	61	101	726	855	2.1	○	×
	64	27	21	759	817	3.4	○	○
	65	37	64	707	802	2.7	○	○
	66	40	50	762	824	1.7	○	○
	67	42	68	756	837	3.2	×	○
	68	34	26	718	861	2.6	○	○

- [0067] 上記表5に示すように、外皮におけるTi含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 42のフラックス入りワイヤは低温靱性に劣っていた。TiO₂含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 43のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性が劣っていた。一方、TiO₂含有量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 44のフラックス入りワイヤは、溶融金属の垂れが発生し、溶接作業性が劣化した。総Si量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 45のフラックス入りワイヤは、溶接金属の強度が過剰であった。一方、総Si量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 46のフラックス入りワイヤは、ビードのなじみが劣化し、低温靱性も劣っていた。
- [0068] C含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 47のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性及び強度が劣っていた。一方、C含有量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 48のフラックス入りワイヤは、溶接金属の0.2%耐力が劣っていた。Mn含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 49のフラックス入りワイヤは、溶接金属の強度が過剰となり、0.2%耐力も劣っていた。一方、Mn含有量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 50のフラックス入りワイヤは、溶接金属の強度が不足した。
- [0069] Mo含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 51のフラックス入りワイヤは、溶接金属の強度が過剰であった。一方、Mo含有量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 52のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性が劣化した。Ni含有量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 53のフラックス入りワイヤは、溶接金属の耐高温割れ性が劣っていた。一方、Ni含有量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 54のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性が劣っていた。
- [0070] 総Mg量が本発明の範囲を超えている比較例のNo. 55のフラックス入りワイヤは、溶接金属の強度が過剰であった。一方、総Mg量が本発明の範囲に満たない比較例のNo. 56のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低

温靱性が劣っていた。総F量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 57のフラックス入りワイヤ、総F量が本発明の範囲に満たない比較例のN o. 58のフラックス入りワイヤ、総K量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 59のフラックス入りワイヤは、いずれも溶接金属の拡散水素量が多かった。

[0071] 総K量が本発明の範囲に満たない比較例のN o. 60のフラックス入りワイヤは、アークが不安定であった。総Na量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 61のフラックス入りワイヤは、溶接金属の拡散水素量が多かった。一方、総Na量が本発明の範囲に満たない比較例のN o. 62のフラックス入りワイヤは、アークが不安定であった。

[0072] B含有量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 63のフラックス入りワイヤは、溶接金属の耐高温割れ性が劣っていた。一方、B含有量が本発明の範囲に満たない比較例のN o. 64のフラックス入りワイヤ、金属Ti量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 65のフラックス入りワイヤ、金属Al量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 66のフラックス入りワイヤは、いずれも溶接金属の低温靱性が劣っていた。

[0073] Fe含有量が本発明の範囲に満たない比較例のN o. 67のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性が劣っており、更に溶着量も不足し、ビード形状が大きく凹形を呈した。また、V含有量が本発明の範囲を超えている比較例のN o. 68のフラックス入りワイヤは、溶接金属の低温靱性が劣っていた。

[0074] これに対して、本発明の実施例であるN o. 1～41のフラックス入りワイヤは、全ての評価において優れていた。

[0075] 本発明に係る実施形態は、以下のような構成をとることができる。

[1] 鋼製外皮内にフラックスが充填されたガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤであって、ワイヤ全質量あたり、 TiO_2 : 3～8質量%、Si、Si酸化物及びSi化合物のうち少なくとも1種 : Si換算値の合計で0.1～0.5質量%、C : 0.01～0.15質量%、Mn : 0.5～

3. O質量%、Mo : 0.01~0.80質量%、Ni : 1~3質量%、金属Mg及びMg合金のうち少なくとも1種 : Mg換算値の合計で0.2~1.0質量%、F化合物 : F換算値の合計で0.010~0.400質量%、K化合物 : K換算値の合計で0.010~0.400質量%、Na化合物 : Na換算値の合計で0.005~0.400質量%、B及びB化合物 : B換算値の合計で0.001~0.005質量%、並びに、Fe : 80質量%以上を含有すると共に、金属Ti及びTi合金 : Ti換算値の合計で0.01質量%以下、金属Al及びAl合金 : Al換算値の合計で0.05質量%以下、並びに、V : 0.010質量%未満に規制し、かつ、鋼製外皮全質量あたり、Ti : 0.011質量%以下に規制したガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

[2] 更に、前記鋼製外皮全質量あたり、Al : 0.05質量%以下に規制した[1]に記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

[3] 更に、前記鋼製外皮全質量あたり、B : 0.005質量%以下に規制した[1]又は[2]に記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

[4] 前記ワイヤ全質量あたりの金属Ti及びTi合金の総含有量のTi換算値を[Ti]、B及びB化合物の総含有量のB換算値を[B]、金属Al及びAl合金の総含有量のAl換算値を[Al]としたとき、これらの関係が下記数式を満たす[1]~[3]のいずれか1つに記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

$$1000 \times \{ [Ti] - ([B]) 0.9 \}^2 / [Al] \leq 2.00$$

[5] 更に、S : 0.005~0.030質量%、ZrO₂ : 0.05~1.00質量%及びAl₂O₃ : 0.01~1.00質量%のうち少なくとも1種を含有する[1]~[4]のいずれか1つに記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

[6] 更に、P : 0.030質量%以下に規制した[1]~[5]のいずれか1つに記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

〔7〕更に、Nb：0.010質量%未満に規制した〔1〕～〔6〕のいずれか1つに記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

[0076] 本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2014年10月15日出願の日本特許出願（特願2014-211255）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0077] 本発明のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、全姿勢溶接が可能であり、海洋構造物などの大型構造物における溶接に有用である。

請求の範囲

[請求項1] 鋼製外皮内にフラックスが充填されたガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤであって、

ワイヤ全質量あたり、

TiO_2 : 3～8質量%、

Si、Si酸化物及びSi化合物のうち少なくとも1種 : Si換算値の合計で0.1～0.5質量%、

C : 0.01～0.15質量%、

Mn : 0.5～3.0質量%、

Mo : 0.01～0.80質量%、

Ni : 1～3質量%、

金属Mg及びMg合金のうち少なくとも1種 : Mg換算の合計で0.2～1.0質量%、

F化合物 : F換算値の合計で0.010～0.400質量%、

K化合物 : K換算値の合計で0.010～0.400質量%、

Na化合物 : Na換算値の合計で0.005～0.400質量%、

B及びB化合物 : B換算値の合計で0.001～0.005質量%、並びに、

Fe : 80質量%以上

を含有すると共に、

金属Ti及びTi合金 : Ti換算値の合計で0.01質量%以下、

金属Al及びAl合金 : Al換算値の合計で0.05質量%以下、

並びに、

V : 0.010質量%未満、

に規制し、

かつ、鋼製外皮全質量あたり、Ti : 0.011質量%以下に規制した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] 更に、Al及びBの少なくとも一方を下記のように規制した請求項

1 に記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

A l : 前記鋼製外皮全質量あたり、0.05 質量%以下

B : 前記鋼製外皮全質量あたり、0.005 質量%以下

[請求項3] 前記ワイヤ全質量あたりの金属 T i 及び T i 合金の総含有量の T i 換算値を [T i]、B 及び B 化合物の総含有量の B 換算値を [B]、金属 A l 及び A l 合金の総含有量の A l 換算値を [A l] としたとき、これらの関係が下記数式を満たす請求項 1 に記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

$$1000 \times \{ [T i] - ([B])^{0.9} \}^2 / [A l] \leq 2.00$$

[請求項4] 更に、S : 0.005～0.030 質量%、Z r O₂ : 0.05～1.00 質量%及び A l₂O₃ : 0.01～1.00 質量%のうち少なくとも 1 種を含有する請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の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5] 更に、P 及び N b の少なくとも一方を下記のように規制した請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載のガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

P : ワイヤ全量当たり、0.030 質量%以下

N b : ワイヤ全量当たり、0.010 質量%未満