

明 細 書

発明の名称：低水素系被覆アーク溶接棒

技術分野

[0001] 本発明は、鋼心線を低水素系被覆剤で被覆した低水素系被覆アーク溶接棒に関する。より詳しくは、低水素系被覆アーク溶接棒の耐吸湿特性を向上させる技術に関する。

背景技術

[0002] 従来、被覆アーク溶接棒の耐吸湿特性を向上させるため、種々の検討がなされている（特許文献１～４参照）。例えば、特許文献１には、被覆剤にガラス粉末を配合した被覆アーク溶接棒が提案されている。また、特許文献２～４には、被覆剤の固着剤にアルカリ金属の珪酸塩水溶液を用いた被覆アーク溶接棒が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特公昭４８－３４２９５号公報
特許文献２：特開昭４８－６５１３３号公報
特許文献３：特開昭５０－１４５５６号公報
特許文献４：特開昭５９－３８８７８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、前述した従来の技術を低水素系被覆剤に適用すると、被覆剤の固着性や溶接作業性が低下するという問題点がある。特に、得られる溶接金属中の拡散性水素量が４ｍｌ／１００ｇ以下である超低水素系被覆アーク溶接棒において、耐吸湿特性に優れ、かつ被覆剤の固着性及び溶接作業性が良好なものが求められている。

[0005] そこで、本発明は、被覆剤の固着性や溶接作業性を低下させずに、耐吸湿性を向上させることができる低水素系被覆アーク溶接棒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

[0006] 本発明に係る低水素系被覆アーク溶接棒は、鋼心線を被覆剤で被覆した低水素系被覆アーク溶接棒であって、前記被覆剤は、金属炭酸塩（C O₂換算）：8～25質量%、金属フッ化物（F換算）：2～15質量%、T i O₂、Z r O₂及びA l₂O₃のうち少なくとも1種：合計で2～10質量%、S i O₂：3～12質量%、S i：1～7質量%、M n：1～8質量%、L i化合物（L i換算）：0.03～0.7質量%、N a化合物（N a換算）及びK化合物（K換算）のうち少なくとも一方：合計で1.0～3.5質量%を含有し、残部がF e及び不可避免的不純物からなり、L i化合物含有量（L i換算値）を[L i]、N a化合物含有量（N a換算値）を[N a]、K化合物含有量（K換算値）を[K]としたとき、下記数式1を満たす組成であり、前記被覆剤の被覆率が22～45質量%である。なお、ここでいう被覆率は、（被覆剤の質量／溶接棒全質量）×100により算出される値である。

[0007] [数1]

$$2.0 \leq (1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}] \leq 3.5 \quad \cdots (1)$$

[0008] 前記被覆剤は、C：0.1質量%以下に規制してもよい。

前記被覆剤は、T i：0.2～2.0質量%を含有していてもよい。

前記被覆剤は、B化合物（B換算）：0.02～0.3質量%を含有していてもよい。

前記被覆剤は、N i：0.5～10質量%を含有していてもよい。

前記被覆剤は、C r及びM oのうち少なくとも一方：合計で0.1～3質量%を含有することもできる。

前記被覆剤は、A l及びM gのうち少なくとも一方：合計で0.2～2質量%を含有することもできる。

一方、前記鋼心線は、例えば軟鋼又は低合金鋼により形成することができる。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、耐吸湿特性に優れ、被覆剤の固着性及び溶接作業性も良好な低水素系被覆アーク溶接棒を実現することができる。

発明を実施するための形態

[0010] 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。なお、本発明は、以下に説明する実施形態に限定されるものではない。

[0011] 本発明の実施形態に係る低水素系被覆アーク溶接棒は、金属炭酸塩（ CO_2 換算）：8～25質量%、金属フッ化物（F換算）：2～15質量%、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 のうち少なくとも1種：合計で2～10質量%、 SiO_2 ：3～12質量%、 Si ：1～7質量%、 Mn ：1～8質量%、 Li 化合物（ Li 換算）：0.03～0.7質量%、 Na 化合物（ Na 換算）及び K 化合物（ K 換算）のうち少なくとも一方：合計で1.0～3.5質量%を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物からなり、かつ下記数式2を満たす組成の被覆剤で、鋼心線を被覆したものであり、被覆剤の被覆率は22～45質量%である。

[0012] [数2]

$$2.0 \leq (1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}] \leq 3.5 \quad \cdots (2)$$

[0013] なお、上記数式2において、 $[\text{Li}]$ は Li 化合物含有量（ Li 換算値）、 $[\text{Na}]$ は Na 化合物含有量（ Na 換算値）、 $[\text{K}]$ は K 化合物含有量（ K 換算値）である。

[0014] （被覆剤）

[溶接棒全質量に対する被覆剤の被覆率：22～45質量%]

被覆アーク溶接棒の被覆剤の被覆率（%）は、（被覆剤の質量／溶接棒全質量）×100により算出される。被覆剤の被覆率が22質量%未満の場合、シールド不足となり、溶接金属中の N 含有量及び水素量が増加し、溶接金属の靱性及び耐割れ性が低下する。一方、被覆剤の被覆率が45質量%を超えると、アーク長が長くなり、アーク切れが発生する。よって、被覆剤の被

覆率は22～45質量%とする。

[0015] [金属炭酸塩 (CO_2 換算) : 8～25質量%]

金属炭酸塩は、溶接金属中のN及び水素量を低減させる効果がある。しかし、被覆剤中の金属炭酸塩量が、 CO_2 換算値で、8質量%未満であると、溶接金属中の水素量が4 ml / 100 gを超えると共に、N量が過剰となり、良好な耐割れ性及び靱性を得ることができない。一方、被覆剤中の金属炭酸塩量が、 CO_2 換算値で、25質量%を超えると、スラグの粘性が過度となり、立向溶接が困難になる。よって、金属炭酸塩含有量 (CO_2 換算値) は、被覆剤全質量あたり、8～25質量%とする。

[0016] 被覆剤における金属炭酸塩量は、溶接金属中の水素量及びN量低減の観点から、 CO_2 換算値で11質量%以上とすることが好ましく、より好ましくは16質量%以上である。一方、スラグ粘度を下げ、溶接作業性を更に良好にするためには、金属炭酸塩量は、 CO_2 換算値で22質量%以下とすることが好ましい。なお、被覆剤に配合される金属炭酸塩の具体例としては、 CaCO_3 、 MgCO_3 及び BaCO_3 などが挙げられる。

[0017] [金属フッ化物 (F換算) : 2～15質量%]

金属フッ化物は、スラグの粘性を調整して、溶接作業性を良好にする効果がある。しかし、被覆剤中の金属フッ化物量が、F換算値で、2質量%未満の場合、スラグの粘性が高くなりすぎてビード形状が劣化する。一方、被覆剤中の金属フッ化物量が、F換算値で、15質量%を超えると、アークが不安定になる。よって、金属フッ化物含有量 (F換算値) は、被覆剤全質量あたり、2～15質量%とする。

[0018] 被覆剤における金属フッ化物量は、ビード形状の向上の観点から4質量%以上とすることが好ましく、またアークの安定化の観点から10質量%以下とすることが好ましい。なお、被覆剤に配合される金属フッ化物の具体例としては、 CaF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 及び LiF などが挙げられる。

[0019] [TiO_2 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 : 合計で2～10質量%]

TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 は、スラグ造滓剤として作用する。しかし

、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 の総含有量が、被覆剤全重量あたり2質量%未満の場合、スラグの粘性が低下してビード形状が劣化する。このため、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 については、少なくとも1種を、合計で2質量%以上となるように配合する。

[0020] 一方、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 を過剰添加すると、スラグがガラス状になり、スラグ剥離性が劣化する。そこで、本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒では、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 の総含有量は、被覆剤全質量あたり、10質量%以下とする。

[0021] 被覆剤における TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 の総含有量は、ビード形状の観点から3質量%以上とすることが好ましく、また、スラグ剥離性の観点から8質量%以下とすることが好ましい。なお、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 は、全てを配合する必要はなく、少なくとも1種を被覆剤に配合することにより、前述した効果が得られる。

[0022] [SiO_2 : 3～12質量%]

SiO_2 は、粘結剤及びスラグ造滓剤として作用する。しかし、被覆剤中の SiO_2 量が、被覆剤全質量あたり12質量%を超えると、スラグがガラス状になって、スラグの剥離性が劣化する。一方、被覆剤中の SiO_2 量が、被覆剤全質量あたり3質量%未満の場合、粘結剤としての効果を得ることができない。よって、 SiO_2 含有量は、被覆剤全質量あたり、3～12質量%とする。被覆剤における SiO_2 量は、粘結剤効果向上の観点から4質量%以上とすることが好ましく、また、スラグ剥離性の観点から9質量%以下とすることが好ましい。

[0023] なお、被覆剤に配合されるスラグ造滓剤としては、前述した酸性酸化物の他に、粘性の調整を目的として MgO 及び CaO などを添加することができる。また、粘結剤としては、ケイ酸カリウムやケイ酸ナトリウムなどを使用することができる。ただし、結晶水を含有するケイ酸塩、例えば、マイカ、タルク及びセリサイトなどは、溶接金属中の水素量を増加させるため、実質的には含有しないことが好ましい。

[0024] [Si : 1～7 質量%]

Si は脱酸素剤として作用し、例えば Fe-Si 及び Fe-Si-Mn などの合金成分の形態で添加することができる。ただし、Si 含有量が、被覆剤全質量あたり、1 質量%未満の場合、脱酸素剤としての効果が不十分となり、また、7 質量%を超えると、熔融金属の粘性が高くなり、母材へのなじみが低下するなど溶接作業性が劣化する。よって、Si 含有量は、被覆剤全質量あたり、1～7 質量%とする。なお、ここでいう Si 含有量は、前述した SiO₂に含まれる Si を含まない。

[0025] [Mn : 1～8 質量%]

Mn は、前述した Si と同様に、脱酸剤として作用する他、溶接金属の靱性向上にも有効な元素である。そして、Mn は、金属 Mn や Fe-Mn などの形態で被覆剤に添加することができる。ただし、Mn 含有量が、被覆剤全質量あたり 1 質量%未満の場合、脱酸不足となり、ブローホールが発生する。一方、Mn 含有量が、被覆剤全質量あたり 8 質量%を超えると、熔融金属の粘性が低下して凸ビード傾向となり、溶接作業性が劣化する。よって、Mn 含有量は、被覆剤全質量あたり、1～8 質量%とする。被覆剤における Mn 量は、溶接金属の靱性を考慮すると 2 質量%以上とすることが好ましく、溶接作業性向上の観点から 5 質量%以下とすることが好ましい。

[0026] [Li 化合物 (Li 換算値) : 0.03～0.7 質量%]

Li は、被覆剤の耐吸湿性を向上させる効果があり、一般には水ガラス中に添加される。被覆剤中の Li 化合物が、Li 換算値で 0.03 質量%未満の場合、耐吸湿性を向上させる効果が得られない。一方、被覆剤中の Li 化合物が、Li 換算値で 0.7 質量%を超えると、耐吸湿性は向上するが、水ガラスの粘性が小さくなり被覆剤の被覆工程における潤滑剤としての性能が低下して、被覆作業が困難になる。また、Li 化合物量が 0.7 質量%を超えると、固着強度が低下するため、被覆後における被覆剤の脱落及び乾燥時における乾燥割れが生じやすくなる。

[0027] よって、Li 化合物含有量は、Li 換算値で、被覆剤全質量あたり 0.0

3～0.7質量%とする。なお、Li化合物の具体例としては、水ガラスに添加される Li_2O の他に、 LiCO_3 及び LiF などを用いることができる。

[0028] [Na化合物（Na換算値）、K化合物（K換算値）：合計で1.0～3.5質量%]

Na及びKは、被覆剤の固着性及びアーク安定性を確保する効果がある。しかし、被覆剤中のNa化合物（Na換算値）とK化合物（K換算値）の合計が、被覆剤全質量あたり1.0質量%未満であると、アークが不安定になると共に固着強度が低下するため、被覆後における被覆剤の脱落及び乾燥時における乾燥割れが生じやすくなる。一方、被覆剤中のNa化合物（Na換算値）とK化合物（K換算値）の合計が、被覆剤全質量あたり3.5質量%を超えると、被覆剤の耐吸湿性が劣化する。

[0029] よって、被覆剤中のNa化合物含有量（Na換算値）とK化合物含有量（K換算値）の合計は、1.0～3.5質量%の範囲とする。なお、Na化合物及びK化合物（K換算値）は、その両方を配合する必要はなく、少なくとも一方を被覆剤に配合すれば、前述した効果が得られる。

[0030] [Li化合物含有量とNa化合物含有量とK化合物含有量の関係]

本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒では、被覆剤について、Li化合物含有量（Li換算値）とNa化合物含有量（Na換算値）とK化合物含有量（K換算値）との関係が、上記数式2を満たす組成にしている。Liと、Na及びKとは、被覆剤の固着強度と耐吸湿性に及ぼす影響に関して、相反する作用を有する。即ち、Liは、被覆剤の固着強度を低下させるが耐吸湿性を向上させる効果がある。これに対して、Na及びKは、固着強度を上昇させる効果があるが、耐吸湿性を低下させる。

[0031] そこで、本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒では、これらアルカリ成分の被覆剤の固着強度と耐吸湿性への影響度は、それぞれの元素の原子半径と相関があると考えた。そして、本発明者は、Liの原子半径を1とした場合、Naの原子半径は1.22、Kの原子半径は1.49と表され、Naと

Kを分子、Liを分母に配置した $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ なるパラメータで被覆剤の固着強度と耐吸湿性を同時に評価できることを見出した。

[0032] ただし、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ が2.0未満の場合、耐吸湿性には優れるが、被覆剤の固着強度が低下する。また、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ が3.5を超えると、被覆剤の固着強度は向上するが、耐吸湿性が低下する。よって、上記数式2に示すパラメータ $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ の範囲は、2～3.5とする。なお、被覆剤の固着強度と耐吸湿性のバランスを考慮すると、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ の範囲は、5～2.0であることが好ましい。

[0033] [C : 0.1質量%以下]

C含有量が、被覆剤全質量あたり0.1質量%を超えると、溶接金属中のC量が過剰となり、高温割れが発生しやすくなると共に、靱性低下の原因となる高炭素マルテンサイトが生成しやすくなる。このため、C含有量は、被覆剤全質量あたり、0.1質量%以下に規制することが好ましい。

[0034] また、本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒では、被覆剤に、前述した各成分に加えて、以下に示す成分のうち1種又は2種以上を、必要に応じて添加することができる。

[0035] [Ti : 0.2～2.0質量%]

Tiは、脱酸性元素であると共に、溶接金属の強度向上に有効な元素である。また、Tiは微細な球状酸化物を生成して、溶接金属の組織の微細化する効果もある。ただし、Tiの含有量が、被覆剤全質量あたり、0.2質量%未満の場合、十分な脱酸効果及び溶接金属の強度向上効果が得られない。一方、Tiの含有量が2.0質量%を超えると、溶接金属中のTi量が多くなり過ぎ、強度及び硬度が過度に高くなって、溶接金属の靱性が低下する。よって、Tiを添加する場合は、その含有量を、被覆剤全質量あたり、0.2～2.0質量%とする。なお、Tiは、Fe-Ti及び金属Tiなどの形

態で添加することができる。

[0036] [B化合物 (B換算) : 0.02~0.3質量%]

Bは、粒界フェライトの生成抑制に有効であり、焼入れ性が強い元素である。ただし、被覆剤中のB含有量が、B換算値で、0.02質量%未満の場合、Bによる粒界フェライトの生成抑制効果は得られず、溶接金属の金属組織が粗くなる。一方、被覆剤中のBの含有量が0.3質量%を超えると、溶接金属が粗大なラス状組織を呈して靱性が劣化する。よって、Bを添加する場合は、その含有量 (B換算値) が、被覆剤全質量あたり0.02~0.3質量%となるようにする。なお、Fe-B、Fe-Si-B及び金属Bなどの形態で添加することができる。

[0037] [Ni : 0.5~10質量%]

Niは、溶接金属の強度及び靱性を高める効果があり、特に、溶接部材の使用温度が-40℃を下回るような場合は、溶接金属の強度と靱性を両立させるために、Niを添加することが望ましい。ただし、Ni含有量が、被覆剤全質量あたり、0.5質量%未満の場合、溶接金属の靱性向上の効果が得られない。一方、Ni含有量が、被覆剤全質量あたり、10質量%を超えると、溶接金属の強度が高くなりすぎて靱性が低下すると共に、溶接時に高温割れを起こしやすくなる。従って、Niを添加する場合は、被覆剤全質量あたり、0.5~10質量%とする。なお、Niは、金属Ni、Ni-Mg及びFe-Niなどの形態で添加することができる。

[0038] [Cr、Mo : 合計で0.1~3質量%]

Cr及びMoは、溶接金属の強度を向上させる効果がある。しかし、Cr及びMoの総含有量が、被覆剤全質量あたり、0.1質量%未満の場合、溶接金属の強度向上の効果が得られない。一方、Cr及びMoの総含有量が、被覆剤全質量あたり3質量%を超えると、焼入れ性が過大になると共に、炭化物を生成するため、溶接金属の靱性が劣化する。従って、Cr及びMoを添加する場合は、被覆剤全質量あたり、合計で0.1~3質量%の範囲にする。なお、Cr及びMoは、その両方を添加する必要はなく、いずれか一方

のみ添加してもよい。

[0039] [A l、M g：合計で0.2～2質量%]

A l及びM gは、強い脱酸剤であり、溶接金属中の酸素量を低減し、靱性を向上させる効果がある。ただし、A l及びM gの総含有量が、被覆剤全質量あたり0.2質量%未満の場合、溶接金属の靱性向上の効果が得られない。一方、A l及びM gの総含有量が、被覆剤全質量あたり、2質量%を超えると、アークが不安定になり、スパッタ発生量が多くなると共に、スラグの粘性が低下してスラグ剥離性が劣化する。従って、A l及びM gを添加する場合は、これらの総含有量を、被覆剤全質量あたり0.2～2質量%とする。なお、A l及びM gは、その両方を添加する必要はなく、いずれか一方のみを添加してもよい。

[0040] [残部]

被覆剤における上記以外の成分、即ち残部は、F e、アルカリ金属酸化物、アルカリ土類金属酸化物及び不可避免の不純物などである。また、ここでいう不可避免の不純物には、P、S、V、N b、S n及びZ rなどが挙げられる。

[0041] (鋼心線)

鋼心線に用いられる鋼材としては、例えば軟鋼や低合金鋼が挙げられる。

[0042] 以上詳述したように、本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒では、被覆剤組成、特にL i化合物含有量とN a化合物含有量及びK化合物含有量との関係を特定しているため、被覆剤の固着性及び溶接作業性を低下させずに、耐吸湿性を向上させることができる。更に、本実施形態の低水素系被覆アーク溶接棒を使用することにより、拡散性水素量が4 m l／100 g以下の溶接金属を得ることができる。

[0043] 最後に、本発明は下記の態様を有するものであることを確認的に付言しておく。

第1態様：鋼心線を被覆剤で被覆した低水素系被覆アーク溶接棒であって、

前記被覆剤は、

金属炭酸塩（ CO_2 換算）：8～25質量％、

金属フッ化物（F換算）：2～15質量％、

TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 うち少なくとも1種：合計で2～10質量％、

SiO_2 ：3～12質量％、

Si：1～7質量％、

Mn：1～8質量％、

Li化合物（Li換算）：0.03～0.7質量％、

Na化合物（Na換算）及びK化合物（K換算）のうち少なくとも一方：合計で1.0～3.5質量％

を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、

Li化合物含有量（Li換算値）を $[\text{Li}]$ 、Na化合物含有量（Na換算値）を $[\text{Na}]$ 、K化合物含有量（K換算値）を $[\text{K}]$ としたとき、下記数式（1）を満たす組成であり、

前記被覆剤の被覆率が22～45質量％である低水素系被覆アーク溶接棒。

第2態様：前記被覆剤は、Cが0.1質量％以下に規制されている第1態様に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

第3態様：前記被覆剤は、更に、Ti：0.2～2.0質量％を含有する第1態様又は第2態様に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

第4態様：前記被覆剤は、更に、B化合物（B換算）：0.02～0.3質量％を含有する第1態様～第3態様のいずれかに記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

第5態様：前記被覆剤は、更に、Ni：0.5～10質量％を含有する第1態様～第4態様のいずれかに記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

第6態様：前記被覆剤は、更に、Cr及びMoのうち少なくとも一方：合計で0.1～3質量％を含有する第1態様～第5態様のいずれかに記載の低

水素系被覆アーク溶接棒。

第7態様：前記被覆剤は、更に、Al及びMgのうち少なくとも一方：合計で0.2～2質量%を含有する第1態様～第6態様のいずれかに記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

第8態様：前記鋼心線は、軟鋼又は低合金鋼からなる第1態様～第7態様のいずれかに記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

実施例

[0044] 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、溶接棒塗装機を用いて、下記表1に示す成分組成の鋼心線を、下記表2、3に示す成分組成（焼成後の組成）の被覆剤で被覆した後、400～500℃で約1時間焼成し、実施例及び比較例の各低水素系被覆アーク溶接棒を作製した。なお、実施例及び比較例の各溶接棒の被覆率は、下記表2、3に示す通りである。また、下記表1～3に示す鋼心線及び被覆剤の成分組成における残部は、Fe及び不可避免的不純物である。そして、下記表2、3に示すNo. 1～30の溶接棒は本発明の範囲内のものであり、下記表3に示すNo. 31～48の溶接棒は本発明の範囲から外れるものである。

[0045] [表1]

No.	組成（質量%）					
	C	Si	Mn	P	S	N
C1	0.05	0.01	0.47	0.003	0.010	0.008
C2	0.06	0.01	0.46	0.003	0.009	0.009
C3	0.05	0.02	0.46	0.003	0.008	0.003
C4	0.09	0.02	0.42	0.003	0.005	0.004
C5	0.06	0.02	0.41	0.002	0.007	0.004
C6	0.08	0.01	0.42	0.004	0.008	0.003
C7	0.06	0.01	0.42	0.005	0.007	0.005
C8	0.07	0.01	0.43	0.005	0.007	0.003
C9	0.08	0.01	0.45	0.003	0.006	0.006
C10	0.01	0.02	0.49	0.007	0.008	0.003

[0046]

[表2]

試料 No.	心線 No.	被覆剤組成 (質量%)															ハロゲン A+Mg	被覆率 (質量%)	
		金属炭酸塩 (CO ₂ 換算値)	金属珪酸塩 (F換算値)	TiO ₂ +ZrO ₂ +Al ₂ O ₃	SiO ₂	Si	Mn	Li化合物 (Li換算値)	Na化合物 (Na換算値)	K化合物 (K換算値)	Na+K	C	Ti	B化合物 (B換算値)	Ni	Cr+Mo			
1	C1	21	3.0	4.0	5.5	2.5	3.5	0.48	0.70	0.40	1.10	0.04	<0.01	<0.01	1.3	<0.01	I	3.0	32
2	C2	20	8.0	6.5	7.0	5.5	2.5	0.04	0.75	0.27	1.02	0.07	0.8	0.12	1.2	<0.01	1.5	33.4	30
3	C3	18	10.0	2.5	9.1	4.7	3.2	0.19	1.35	1.20	2.55	0.06	0.5	0.15	<0.01	<0.01	0.88	18.4	33
4	C3	13	2.5	9.0	8.5	3.5	4.5	0.18	1.33	0.62	1.95	0.05	0.6	0.09	1.2	<0.01	0.96	14.5	35
5	C3	25	14.0	4.7	7.5	4.1	3.8	0.15	1.32	0.55	1.87	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.2	16.2	29
6	C4	15	7.2	4.5	8.2	3.5	3.7	0.21	1.33	0.50	1.83	0.06	0.6	0.09	1.6	<0.01	0.75	11.5	44
7	C5	17	6.5	7.2	5.8	2.3	4.3	0.62	1.20	1.50	2.70	0.05	0.7	0.08	<0.01	<0.01	1.01	6.0	23
8	C5	9	5.7	5.1	6.5	1.5	3.6	0.15	1.70	1.60	3.30	0.06	0.8	0.08	1.3	<0.01	0.75	29.7	29
9	C3	13	4.3	6.1	7.6	6.3	3.5	0.16	1.35	0.65	2.00	0.08	1.1	0.20	1.2	<0.01	0.85	15.9	27
10	C5	18	11.0	5.8	6.5	3.3	1.3	0.11	1.25	0.75	2.00	0.07	0.5	0.15	1.5	<0.01	1.1	23.9	30
11	C6	22	3.5	7.2	3.2	5.7	3.1	0.10	1.25	0.30	1.55	0.06	0.2	0.03	1.6	0.4	1.35	20.2	36
12	C7	11	5.5	4.6	7.3	5.2	6.7	0.09	0.00	1.10	1.10	0.05	<0.01	<0.01	8.1	2.3	0.65	17.5	29
13	C8	20	12.3	5.5	11.3	3.5	4.5	0.11	0.90	0.00	1.10	0.04	0.4	0.11	1.5	<0.01	0.85	12.7	28
14	C3	15	6.3	4.3	8.5	4.3	3.6	0.66	0.80	0.40	1.20	0.09	<0.01	<0.01	7.2	1.5	0.73	2.4	31
15	C5	19	8.0	4.1	7.2	3.9	3.7	0.13	1.18	0.70	1.88	0.05	0.6	0.09	1.3	<0.01	<0.01	19.7	28
16	C5	19	7.8	4.1	7.2	3.9	3.7	0.21	1.18	0.70	1.88	0.05	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	11.7	28
17	C5	19	7.9	4.1	7.3	3.8	3.7	0.18	1.22	0.70	1.92	0.05	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	14.3	28
18	C8	20	7.6	4.1	7.3	3.9	3.7	0.12	1.18	0.70	1.88	0.05	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	21.6	30
19	C9	20	7.7	4.1	7.3	3.9	3.7	0.16	1.18	0.70	1.88	0.03	0.6	0.09	1.2	<0.01	0.95	15.1	30
20	C8	21	8.1	4.1	7.2	3.8	4.0	0.25	1.22	0.70	1.92	0.05	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	10.1	29
21	C5	11	8.6	3.3	7.5	2.0	3.2	0.17	1.40	0.74	2.14	0.05	1.95	0.08	<0.01	<0.01	0.71	16.5	34
22	C6	18	7.4	4.1	7.8	3.8	3.8	0.23	1.15	0.70	1.85	0.03	0.6	0.09	1.7	0.2	0.95	10.8	30
23	C5	22	6.7	6.0	6.5	4.5	3.0	0.22	1.16	0.80	1.96	0.03	<0.01	0.08	5	0.3	0.77	11.8	29
24	C8	18	7.8	4.0	5.5	3.8	4.3	0.23	1.20	0.84	2.04	0.03	0.4	0.10	3	<0.01	0.94	11.7	33
25	C5	17	7.2	3.9	5.8	3.4	3.1	0.18	1.17	0.84	2.01	0.01	0.6	0.10	5.8	0.3	0.92	15.1	29

実施例

実施例

[0047]

[表3]

試料 No.	心線 No.	全炭酸 (CO ₂ 換算値)	金属珪酸塩 (F換算値)	TiO ₂ +ZrO ₂ +Al ₂ O ₃	SiO ₂	Si	Mn	Li化合物 (Li換算値)	Na化合物 (Na換算値)	K化合物 (K換算値)	被覆剤組成 (質量%)						ハロゲン Al+Mg	被覆率 (質量%)		
											Na+K	C	Ti	B化合物 (B換算値)	Ni	Cr+Mo				
実 施 例	26	C10	19	6.5	6.2	6.0	5.1	3.8	0.19	1.16	0.85	2.01	0.01	<0.01	<0.01	7.8	1.4	0.08	14.3	32
	27	C10	12	6.5	3.8	10.0	3.3	4.5	0.24	1.14	0.90	2.04	0.01	<0.01	<0.01	5.8	1.7	0.66	11.5	30
	28	C8	22	8.5	5.8	7.5	3.5	3.9	0.20	1.26	0.76	2.02	<0.01	<0.01	<0.01	2	1.2	0.08	13.1	31
	29	C3	21	6.5	6.0	5.5	1.8	3.7	0.22	1.15	0.80	1.95	0.05	0.1	<0.01	0.3	<0.01	0.15	11.9	30
	30	C3	21	6.7	6.1	5.5	1.8	3.7	0.22	1.15	0.80	1.95	0.05	0.1	<0.01	0.3	<0.01	0.35	11.9	30
	31	C8	20	8.5	5.6	6.8	4.0	4.3	0.07	1.30	0.74	2.04	0.04	0.7	0.09	1.5	<0.01	0.88	37.2	31
	32	C5	21	8.5	5.6	6.8	4.0	4.3	0.60	0.60	0.20	0.80	0.04	0.7	0.09	1.5	<0.01	0.88	1.7	31
	33	C3	18	18.5	4.5	15.1	3.8	4.3	0.26	1.15	0.85	2.00	0.05	0.8	0.10	6.5	<0.01	0.95	10.3	28
	34	C5	6	9.2	5.5	7.5	5.2	2.5	0.02	1.15	0.21	1.36	0.05	0.8	0.08	1.7	<0.01	0.88	85.8	29
	35	C3	28	8.5	6.0	7.5	4.0	3.5	0.10	1.20	0.85	2.05	0.08	0.7	0.08	1.5	<0.01	0.85	27.3	48
比 較 例	36	C7	21	7.8	4.1	6.9	3.8	4.0	0.27	1.25	0.70	1.95	0.06	0.8	0.09	1.5	<0.01	0.88	9.5	20
	37	C3	20	7.9	1.5	2.1	4.0	4.5	0.26	1.15	0.80	1.95	0.06	0.8	0.08	1.7	<0.01	0.88	9.8	30
	38	C3	21	7.8	12.5	6.9	4.3	4.1	0.15	1.20	0.70	1.90	0.05	0.7	0.08	1.5	<0.01	0.88	16.7	28
	39	C7	20	7.8	4.1	6.9	8.0	3.5	0.10	1.20	0.74	1.94	0.06	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	25.7	29
	40	C7	20	7.8	4.1	6.9	5.5	8.2	0.13	1.20	0.74	1.94	0.06	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	20.3	29
	41	C3	20	7.8	4.1	6.9	0.5	0.3	0.10	1.15	0.75	1.90	0.06	0.6	0.09	1.3	<0.01	0.95	25.2	30
	42	C5	21	7.9	4.1	6.8	3.8	4.0	0.15	2.20	1.45	3.65	0.05	0.6	0.09	1.2	<0.01	0.95	32.3	30
	43	C8	21	1.5	5.5	8.5	4.1	4.5	0.12	1.15	0.85	2.00	0.04	0.9	0.08	5.1	<0.01	0.85	23.2	31
	44	C5	20	7.7	3.9	6.2	3.7	2.5	0.76	1.20	0.75	1.95	0.05	<0.01	0.08	1.6	<0.01	0.08	3.4	29
	45	C10	19	6.2	6.2	5.4	4.3	3.3	0.19	1.22	0.84	2.06	0.01	2.2	0.35	3.6	<0.01	0.94	14.6	32
	46	C5	22	6.7	6.0	5.5	4.0	2.3	0.22	1.16	0.80	1.96	0.03	<0.01	0.08	12	<0.01	0.77	11.8	29
	47	C8	20	9.4	5.8	6.6	4.2	4.2	0.20	1.15	0.75	1.9	<0.01	<0.01	<0.01	1.7	3.3	0.08	12.4	28
	48	C5	21	7.1	4.1	6.9	3.8	4.1	0.18	1.22	0.60	1.82	0.04	0.6	0.09	1.3	<0.01	2.5	13.5	28

[0048] 次に、前述した方法で作製した実施例及び比較例の各被覆アーク溶接棒について、耐吸湿性、機械的性能、溶接作業性、被覆剤の固着性及び溶接金属

における拡散性水素量を評価した。

[0049] <耐吸湿性>

耐吸湿性は、350℃の温度条件下で、1時間の加熱により再乾燥させた被覆アーク溶接棒を、温度30℃、相対湿度80%の雰囲気中に6時間暴露し、被覆剤が吸湿した水分量をカールフィッシャー法（気化法）で測定することにより評価した。測定時、被覆剤から水分を気化させるために750℃で加熱を行い、乾燥空気をキャリアガスとして測定装置へ導いた。その結果、被覆剤中の水分量が3000質量ppm以下のものを良好と判断した。

[0050] <機械的特性・溶接作業性>

実施例及び比較例の各被覆アーク溶接棒を使用して溶接を行い、溶接作業性を評価すると共に、参考のため得られた溶接金属の機械的性能を評価した。その際、溶接用鋼板（母材）には、JIS G 3106:2008 SM490A（板厚20mm）を用いた。開先形状は20°V開先、開先ギャップは16mmとした。溶接姿勢は下向、極性はAC（Alternating Current、交流）又はDCEP（Direct Current Electrode Positive、直流棒プラス）とし、溶接電流は150～160A、溶接電圧は22～23V、溶接入熱は2.0～2.1kJ/mm、予熱・パス間温度は90～110℃とした。なお、ここでいう溶接作業性とは、アーク安定性、スラグ剥離性およびビード形状のことを言う。

[0051] また、被覆剤の再乾燥のため、溶接前に、各溶接棒を、350℃の温度条件下で1時間加熱した。機械的性能は、溶接金属の引張強さ（TS（Tensile Strength））及び-20℃におけるシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー（ $vE-20^{\circ}C$ ）により評価し、引張強さ490MPa以上かつ吸収エネルギー90J以上であったものを良好と判断した。一方、溶接作業性は、官能により◎、○、△及び×の4段階の評価し、◎及び○を良好と判断した。なお、これらの機械的特性は、本発明の被覆アーク溶接棒においては必須の特性ではない。このため、評価結果が良好でなくても本発明の効果には影響せず、その他の特性が良好であれば本発明の効果は得られているといえる。

[0052] ＜被覆剤の固着性＞

被覆剤の固着性は、先ず、焼成後に、目視により被覆剤表面の割れの有無を観察し、その後、溶接中の保護筒の安定性を、官能により◎、○、△及び×の４段階で評価した。その結果、◎及び○のものを良好と判断した。

[0053] ＜拡散水素量＞

下向の溶接姿勢で、極性をＡＣ又はＤＣＥＰ（直流棒プラス）とし、溶接電流１５０～１６０Ａ、溶接電圧２２Ｖ、溶接速度１８０ｍｍ／分の条件で１パスの溶接を行った。その際、溶接雰囲気は、温度を２０℃、相対湿度を１０％とした。また、被覆剤の再乾燥のために、溶接前に、各溶接棒を、３５０℃の温度条件下で１時間加熱した。

[0054] 溶接により得られた溶接金属中の拡散性水素量を、ＪＩＳ Ｚ ３１１８：２００７に準拠した方法で測定した。その結果、拡散性水素量が４．０ｍｌ／１００ｇ以下のものを、良好と判断した。以上の評価結果を、下記表４にまとめて示す。

[0055]

[表4]

	試料 No.	吸湿水分量 (質量ppm)	拡散性水素量 (ml/100g)	アーク 安定性	スラグ 剥離性	ビード 形状	固着性	TS (MPa)	vE-20°C (J)
実施例	1	745	1.8	○	◎	◎	○	520	98
	2	2832	3.8	◎	◎	◎	◎	567	102
	3	1950	2.5	○	○	○	○	541	145
	4	1780	3.1	◎	○	○	○	689	100
	5	1870	2.6	○	◎	○	○	524	105
	6	2325	3.4	○	○	◎	○	683	95
	7	1570	3.6	◎	◎	◎	○	584	92
	8	2855	3.9	◎	◎	◎	◎	534	105
	9	1750	3.3	◎	◎	○	○	598	112
	10	1973	3.8	○	◎	◎	○	523	91
	11	1850	3.5	○	◎	○	○	518	99
	12	1120	3.6	○	◎	○	○	870	93
	13	850	3.2	○	○	◎	○	625	123
	14	730	1.6	○	◎	◎	○	825	96
	15	2015	3.5	◎	◎	◎	○	558	110
	16	841	2.4	◎	◎	◎	○	580	210
	17	1236	3.1	◎	◎	◎	○	575	205
	18	2055	1.9	◎	◎	◎	○	570	190
	19	1805	2.4	◎	◎	◎	○	566	200
	20	827	2.0	◎	◎	◎	○	590	180
	21	1920	3.3	◎	◎	◎	○	632	115
	22	902	2.5	◎	◎	◎	○	610	165
	23	873	2.8	◎	◎	◎	○	645	188
	24	1005	2.9	◎	◎	◎	○	630	150
	25	895	2.3	◎	◎	◎	○	661	175
	26	1105	2.7	◎	◎	◎	○	755	120
	27	955	3.1	◎	◎	◎	○	827	130
	28	1735	2.8	◎	◎	◎	○	676	123
	29	1050	3.3	◎	◎	◎	○	465	80
	30	1120	3.1	◎	◎	◎	○	495	97
比較例	31	3115	4.3	◎	◎	◎	◎	621	155
	32	550	1.8	×	◎	◎	×	633	148
	33	855	3.3	△	×	◎	○	656	171
	34	8355	6.5	○	◎	◎	◎	677	120
	35	2331	3.8	△	◎	×	○	635	155
	36	3850	4.5	◎	◎	◎	○	625	75
	37	845	3.1	◎	◎	×	△	641	145
	38	1866	3.5	◎	△	◎	○	773	91
	39	2551	3.6	◎	◎	△	○	721	95
	40	2100	3.5	◎	◎	△	○	783	88
	41	2520	3.4	◎	◎	×	○	523	70
	42	3215	3.7	◎	◎	◎	◎	592	158
	43	2250	3.7	◎	◎	△	○	633	135
	44	783	2.8	◎	◎	◎	×	576	140
	45	902	3.5	◎	◎	◎	○	854	83
	46	890	3.0	◎	◎	◎	○	821	79
	47	1131	3.3	◎	◎	◎	○	863	73
	48	1201	3.5	×	△	○	○	573	105

[0056] 上記表4に示すように、No. 31の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ が本発明の範囲を超えているため、耐吸湿性が劣り、拡散水素量も多かった。一方、No. 32の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ が本発明の範囲に満たないため、被覆剤の固着強度が低く、更に

、Na化合物とK化合物の総含有量が本発明の範囲に満たないため、アークが不安定となった。

[0057] No. 33の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、金属フッ化物が本発明の範囲を超えているためアーク安定性が劣化し、更に、 SiO_2 含有量が本発明の範囲を超えているためスラグ剥離性が劣化した。No. 34の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、 $(1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}]$ が本発明の範囲を超え、更に、金属炭酸塩含有量及びLi化合物量が本発明の範囲に満たないため、耐吸湿性が劣り、拡散水素量も多かった。

[0058] No. 35の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、金属炭酸塩含有量が本発明の範囲を超えているためビード形状が劣化し、更に、被覆剤の被覆率が本発明の範囲を超えているためアークが不安定となった。No. 36の溶接棒は、被覆剤の被覆率が本発明の範囲に満たないため、溶接金属中の拡散水素量が増加し、溶接金属の靱性が低下した。

[0059] No. 37の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 の総含有量が本発明の範囲に満たないためビード形状が劣化し、更に、 SiO_2 含有量が本発明の範囲に満たないため固着性が低下した。一方、No. 38の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 の総含有量が本発明の範囲を超えているため、スラグ剥離性が劣化した。

[0060] No. 39の溶接棒は、被覆剤の成分組成においてSi含有量が本発明の範囲を超えているため、溶融金属の粘性が高くなり、また、No. 40の溶接棒は、被覆剤の成分組成においてMn含有量が本発明の範囲を超えているため、溶融金属の粘性が低下し、いずれもビード形状が劣化した。一方、No. 41の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、Si含有量及びMn含有量が本発明の範囲に満たないため、溶接金属の脱酸が不足して、ブローホールが発生し、更に溶接金属の靱性も低下した。

[0061] No. 42の溶接棒は、被覆剤中のNa化合物含有量とK化合物含有量の合計が本発明の範囲を超えているため、耐吸湿性が劣っていた。No. 43

の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、金属フッ化物含有量が本発明の範囲に満たないため、スラグの粘性が高くなり、ビード形状が劣化した。N o . 4 4 の溶接棒は、被覆剤の成分組成において、L i 化合物含有量が本発明の範囲を超えているため、被覆剤の固着強度が低下した。

[0062] 一方、N o . 4 5 の溶接棒は、耐吸湿特性、被覆剤の固着性及び溶接作業性は良好であったが、被覆剤に、2. 0 質量%を超えてT i を添加すると共に0. 3 質量%を超えてB 化合物を添加しているため、溶接金属の靱性が低下した。同様に、N o . 4 6 の溶接棒も、耐吸湿特性、被覆剤の固着性及び溶接作業性は良好であったが、被覆剤に1 0 質量%を超えてN i を添加しているため、溶接金属の靱性が低下した。

[0063] また、N o . 4 7 の溶接棒も、耐吸湿特性、被覆剤の固着性及び溶接作業性は良好であったが、被覆剤に3 質量%を超えてC r 及びM o を添加しているため、溶接金属の靱性が低下した。一方、N o . 4 8 の溶接棒は、被覆剤に2 質量%を超えてA l 及びM g を添加しているため、アークが不安定になり、更にスラグ剥離性も低下した。

[0064] これに対して、本発明の範囲内で作製したN o . 1 ~ 3 0 の溶接棒は、耐吸湿性に優れ、被覆剤の固着性及び溶接作業性も良好であった。加えて、N o . 1 ~ 2 8 , 3 0 の溶接棒は、T i 、B 化合物、N i 、C r 、M o 、A l 及びM g のうち1 種又は2 種以上の元素を特定量含有しているため、これらの元素の含有量が少ないN o . 2 9 の溶接棒に比べて、溶接金属の機械的特性が優れていた。

[0065] 以上の結果から、本発明によれば、耐吸湿特性に優れ、被覆剤の固着性及び溶接作業性も良好な低水素系被覆アーク溶接棒を得られることが確認された。

[0066] 本出願は、出願日が2 0 1 4 年1 月7 日である日本国特許出願、特願第2 0 1 4 - 0 0 1 0 7 3 号を基礎出願とする優先権主張を伴い、特願第2 0 1 4 - 0 0 1 0 7 3 号は参照することにより本明細書に取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 鋼心線を被覆剤で被覆した低水素系被覆アーク溶接棒であって、
前記被覆剤は、
金属炭酸塩（ CO_2 換算）：8～25質量%、
金属フッ化物（F換算）：2～15質量%、
 TiO_2 、 ZrO_2 及び Al_2O_3 のうち少なくとも1種：合計で2～10質量%、
 SiO_2 ：3～12質量%、
Si：1～7質量%、
Mn：1～8質量%、
Li化合物（Li換算）：0.03～0.7質量%、
Na化合物（Na換算）及びK化合物（K換算）のうち少なくとも一方：合計で1.0～3.5質量%
を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、
Li化合物含有量（Li換算値）を[L i]、Na化合物含有量（Na換算値）を[N a]、K化合物含有量（K換算値）を[K]としたとき、下記数式（1）を満たす組成であり、
前記被覆剤の被覆率が22～45質量%である
低水素系被覆アーク溶接棒。
$$2.0 \leq (1.22 \times [\text{Na}] + 1.49 \times [\text{K}]) / [\text{Li}] \leq 3.5 \quad \cdots (1)$$
- [請求項2] 前記被覆剤は、Cが0.1質量%以下に規制されている請求項1に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。
- [請求項3] 前記被覆剤は、更に、Al及びMgのうち少なくとも一方：合計で0.2～2質量%を含有する請求項1に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。
- [請求項4] 前記鋼心線は、軟鋼又は低合金鋼からなる請求項1に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項5] 前記被覆剤は、更に、Cr及びMoのうち少なくとも一方：合計で0.1～3質量%を含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項6] 前記被覆剤は、更に、
Ti：0.2～2.0質量%、および
B化合物（B換算）：0.02～0.3質量%
を含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項7] 前記被覆剤は、更に、
Ni：0.5～10質量%、
Ti：0.2～2.0質量%、および
B化合物（B換算）：0.02～0.3質量%
を含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項8] 前記被覆剤は、更に、
Ni：0.5～10質量%、および
Cr及びMoのうち少なくとも一方：合計で0.1～3質量%
を含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項9] 前記被覆剤は、更に、
Ni：0.5～10質量%、
Cr及びMoのうち少なくとも一方：合計で0.1～3質量%、
および
B化合物（B換算）：0.02～0.3質量%
を含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。

[請求項10] 前記被覆剤は、更に、
Ni：0.5～10質量%、

C r 及び M o のうち少なくとも一方：合計で 0.1 ～ 3 質量%、
T i ： 0.2 ～ 2.0 質量%、および
B 化合物（B 換算）： 0.02 ～ 0.3 質量%
を含有する請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の低水素系被覆アーク溶接棒。