

明 細 書

発明の名称：被覆アーク溶接棒および被覆アーク溶接方法

技術分野

- [0001] 本発明は、被覆アーク溶接棒および被覆アーク溶接方法に関し、より詳しくは、アークの偏向を抑制し、良好なアーク安定性を維持することによって、溶滴をスムーズに移行させることを可能とし、優れた溶接作業性を得ることができる被覆アーク溶接棒と、それを用いてアーク溶接する被覆アーク溶接方法に関する。

背景技術

- [0002] 被覆アーク溶接は、金属の棒（心線）に被覆剤と呼ばれるフラックスや保護材などを設けた被覆アーク溶接棒（単に、「溶接棒」や「手棒」などと呼ばれることもある）を電極とし、母材との間にアークを発生させ、アーク熱で溶接棒と母材を溶融させることにより、対象物を接合する溶接方法である。被覆アーク溶接は、シールドガスを必要としない最も簡素な溶接方法であり、風が強い屋外などでも溶接することができ、各種製造工場、ビル、船舶、車両などで広く用いられている。
- [0003] 被覆アーク溶接棒を構成する被覆剤には、ガス発生剤、スラグ形成剤、脱酸剤、合金添加剤、アーク安定剤、および固着剤等の機能を有する原料が含まれている。また、被覆アーク溶接棒は、被覆剤の種類によって分類されており、イルミナイト系、高酸化チタン系、ライムチタニア系、鉄粉酸化チタン系、高セルロース系、低水素系および鉄粉低水素系等、種々の系統がある。
- [0004] 上記した種々の系統の被覆アーク溶接棒のうち、低水素系被覆アーク溶接棒としては、特許文献1に示すように、心線中の酸素含有量を限定すると共に、被覆剤中の金属炭酸塩、金属フッ化物、および水分の含有量を適切に調整した被覆アーク溶接棒が提案されている。上記特許文献1には、被覆アーク溶接棒における心線および被覆剤中の成分を適切に調整することにより、

溶接金属の物理的特性を阻害することなく、良好な溶接作業性を確保できることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開昭57-85696号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、被覆アーク溶接棒を用いた溶接では、前進角や後退角等の様々な溶接姿勢で行われるため、溶接棒を傾けた際に母材に近接している部分の被覆剤は溶けやすく（これを片溶けと呼ぶ）、アークが偏向し溶接作業が劣化する。上述の特許文献1に記載された被覆アーク溶接棒は、片溶けやアークの偏向に関して何ら記載されておらず、また低水素系の被覆アーク溶接棒に特化して適用されるものであるため、他のあらゆる系統の被覆アーク溶接棒について、溶滴移行性やアーク安定性で評価される溶接作業性を高められるものではなかった。

[0007] 本発明は、片溶けおよびアークの偏向を抑制し、溶滴をスムーズに移行させることができるとともに、アーク安定性が良好であり、これにより、優れた溶接作業性を得ることができる被覆アーク溶接棒を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る被覆アーク溶接棒は、下記（1）の構成からなる。

（1）心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒であって、

前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、

粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ と、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$

m の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、6.0質量%以上（ただし、前記 $C_{CO_2, 75\mu m}$ および前記 $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む）であり、

前記被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、

前記心線の先端部と、該心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離を D_1 とし、

前記心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部と、該心線の周囲に残存している該被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離を D_2 としたとき、

前記 D_1 に対する前記 D_2 の比率（ D_2/D_1 ）が、0.40以下（0の場合を含む）を満たすことを特徴とする被覆アーク溶接棒。

[0009] また、本発明に係る被覆アーク溶接棒の好ましい実施形態は、下記（2）または（3）の構成からなる。

（2）前記 D_1 が2.2mm以下を満たす、上記（1）に記載の被覆アーク溶接棒。

（3）前記被覆アーク溶接棒における心線の直径 d に対する前記 D_1 の比率（ D_1/d ）が1.3以下を満たす上記（1）または（2）に記載の被覆アーク溶接棒。

[0010] また、本発明に係る被覆アーク溶接棒は、下記（4）の構成からなる。

（4）心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒であって、

前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、

粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、6.0質量%以上（ただし、前記 $C_{CO_2, 75\mu m}$ および前記 $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む）であることを特徴とする被覆アーク溶接棒。

[0011] また、本発明に係る被覆アーク溶接棒の好ましい実施形態は、下記（５）～（１０）の構成からなる。

（５）溶接棒長手方向に垂直な断面において、

前記被覆剤全体の断面積を S_1 とし、

円相当径が $30\ \mu\text{m}$ 以上である前記金属炭酸塩および前記金属フッ化物のうち少なくとも１種の総面積を S_2 としたとき、

S_1 に対する S_2 の比率 (S_2/S_1) が、 0.06 以上 0.15 以下を満たす上記（１）～（４）のいずれか１つに記載の被覆アーク溶接棒。

（６）前記被覆剤は、前記金属炭酸塩として、 CaCO_3 、 BaCO_3 、 SrCO_3 、 MgCO_3 および MnCO_3 から選択される少なくとも１種を含有し、

前記被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、前記被覆剤中の金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ が、 6.0 質量%以上 26.0 質量%以下を満たす、上記（１）～（５）のいずれか１つに記載の被覆アーク溶接棒。

（７）前記被覆剤は、前記金属フッ化物として、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 および MgF_2 から選択される少なくとも１種を含有し、

前記被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、前記被覆剤中の金属フッ化物の総含有量 (F 換算値) $C_{\text{F, total}}$ は、 15.0 質量%以下 (0 質量%を含む) である、上記（１）～（６）のいずれか１つに記載の被覆アーク溶接棒。

（８）前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物の両方を含有し、

前記被覆剤中の、金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ と金属フッ化物の総含有量 (F 換算値) $C_{\text{F, total}}$ の合計に対する、金属フッ化物の総含有量 (F 換算値) $C_{\text{F, total}}$ の比率 $\{C_{\text{F, total}} / (C_{\text{CO}_2, \text{total}} + C_{\text{F, total}})\}$ が、 0.10 以上 0.30 以下を満たす、上記（１）～（７）のいずれか１つに記載の被覆アーク溶接棒。

（９）前記被覆剤は、更に、 Si および Si 化合物のうち少なくとも１種を含有し、

前記被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、前記 Si および Si 化合物の総含有量（ Si 換算値） $C_{Si, total}$ は、6.0質量%以上9.0質量%以下である、上記（1）～（8）のいずれか1つに記載の被覆アーク溶接棒。

（10）前記被覆アーク溶接棒を、母材に対し垂直または後退角を 0° 超、 30° 以下とした溶接姿勢によるアーク溶接において用いられることを特徴とする上記（1）～（9）のいずれか1つに記載の被覆アーク溶接棒。

[0012] また、本発明に係る被覆アーク溶接方法は、下記（11）の構成からなる。

（11）心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒を用いた被覆アーク溶接方法であって、

前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、

粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量（ F 換算値） $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、6.0質量%以上（ただし、前記 $C_{CO_2, 75\mu m}$ および前記 $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む）であることを特徴とする被覆アーク溶接方法。

[0013] また、本発明に係る被覆アーク溶接方法の好ましい実施形態は、下記（12）～（15）の構成からなる。

（12）前記被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、

前記心線の先端部と、該心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離を D_1 とし、

前記心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部と、該心線の周囲に残存している該被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離を D_2 としたとき、

前記 D_1 に対する前記 D_2 の比率（ D_2/D_1 ）が0.40以下（0の場合を含む）となるようにアーク溶接する、上記（11）に記載の被覆アーク溶接方法。

(13) 前記 D_1 が2.2 mm以下を満たすようにアーク溶接する、上記(12)に記載の被覆アーク溶接方法。

(14) 前記被覆アーク溶接棒における心線の直径 d に対する前記 D_1 の比率(D_1/d)が1.3以下を満たすようにアーク溶接する、上記(12)または(13)に記載の被覆アーク溶接方法。

(15) 前記被覆アーク溶接棒を、母材に対し垂直または後退角を 0° 超、 30° 以下とした溶接姿勢でアーク溶接する、上記(11)～(14)のいずれか1つに記載の被覆アーク溶接方法。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩および金属フッ化物から選択される少なくとも1種の粒子のうち、粒子サイズの制御によって、好適なサイズの粒子が所定量含まれるように構成しているので、被覆剤が均一に溶融していくことで、溶接中に保護筒が均一に形成され、片溶けを防止し、アークの偏向が抑制される。結果として、アーク安定性がより良好なものとなる。これにより、あらゆる系統の被覆アーク溶接棒であっても、優れた溶接作業性を得ることができる被覆アーク溶接棒および被覆アーク溶接方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1A]図1Aは、溶接時にアークの偏向が抑制された場合の被覆アーク溶接棒の状態を示す断面図である。

[図1B]図1Bは、溶接時にアークの偏向が顕著に発生した場合の被覆アーク溶接棒の状態を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施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く、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、任意に変更して実施することができる。

[0017] 本発明者らは、被覆剤中に含有される金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズ(粒子の大きさ)に着目し、スムーズな溶滴移行や良好なアーク安定性

を実現することができる被覆アーク溶接棒を得るために鋭意検討を重ねた。

その結果、金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子のうち、サイズの大きなものが所定量含まれるように調整することが効果的であることを見出した。

[0018] まず、金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズ（すなわち、粒度の粗さ）が、溶滴移行に与える影響（すなわち、作用効果）について、以下で詳細に説明する。

[0019] 本発明者らは、金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズは、アーク溶接時に形成される保護筒の形状にも影響を与え、これにより、アークの指向性が保たれる、すなわちアークの偏向を抑制することで、良好なアーク安定性を得ることができることを見出した。

すなわち、粒子サイズの大きな金属炭酸塩または金属フッ化物が被覆剤中に含まれていると、比表面積が小さくなり被覆剤が溶けにくくなるため、アーク溶接時に被覆剤が均一に溶融することで、溶接中において保護筒が均一に形成される（詳細は、後述の内容を参照）。このため、アーク指向性が保たれることで、アーク安定性がより良好なものとなる。

[0020] また、金属炭酸塩や金属フッ化物は、被覆剤中にガス発生剤として含有され得る成分であり、被覆アーク溶接棒を電極として、溶接母材との間にアークを発生させたときにシールドガスを発生させて、大気中の酸素および窒素等の溶接金属への侵入を防止する役割を果たす。

被覆剤中に含有される金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズを大きくするように調整すると、被覆アーク溶接棒先端（溶接棒側のアーク発生点）において、粒子サイズの大きいものは完全にガス化するまで一所に滞留するようになる。この一所の滞留によって、ガスが集中的に一方方向（溶融した心線の方角）に発生するとともに、ガスの体積膨張が影響し、溶滴のくびれ形成が促進される。このため、電磁ピンチ力や表面張力等の溶滴を離脱させるためのせん断力が効率的に働き、溶滴を小粒の状態で離脱させることができる。また、離脱周期を安定に保ちながら溶滴が離脱するため、アーク安定性が良好となり、優れた溶接作業性を得ることができる。

[0021] 一方、金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズが小さい場合には、ガス発生量が少ないことから、小さな体積のガスが発生し、かつ、ガスの発生方向が一方向に定まらず、金属炭酸塩や金属フッ化物の粒子サイズが大きい場合と比較して、溶滴の離脱を促進する力も小さいものとなる。

[0022] 以下、本発明の実施形態に係る被覆アーク溶接棒について、被覆剤に含まれるガス発生剤における、粒子サイズ、溶接棒の長手方向における断面の面積率、その他の成分添加理由および数値限定理由などを、詳細に説明する。

[0023] 本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、
心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒であって、

前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、

粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ と、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量(F 換算値) $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対し、6.0質量%以上(ただし、前記 $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ および前記 $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む)であり、

前記被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、

前記心線の先端部と、該心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離を D_1 とし、

前記心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部と、該心線の周囲に残存している該被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離を D_2 としたとき、

前記 D_1 に対する前記 D_2 の比率(D_2/D_1)が、0.40以下(0の場合を含む)を満たす。

[0024] [被覆剤]

まず、被覆剤の詳細について、以下に説明する。

[0025] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の、粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{F, 75\mu m}$ の合計: 6.0質量%以上>

被覆剤中に含まれる、金属炭酸塩または金属フッ化物の粒子サイズを大きくすると、上述の通り、アーク溶接時の溶滴のくびれ形成が促進され、スムーズな溶滴移行を実現することができる。また、アーク溶接時に被覆剤が均一に溶融することで、溶接中において保護筒が均一に形成される。このため、アークの偏向が抑制され、アーク指向性が保たれることで、アーク安定性がより良好なものとなる。

[0026] なお、粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩が被覆剤中に含有されているか、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物が被覆剤中に含有されていれば、上記したような、スムーズな溶滴移行や良好なアーク安定性の効果を得ることができる。ただし、粒度が所定値以上の金属炭酸塩や、粒度が所定値以上の金属フッ化物の含有量も、スムーズな溶滴移行やアーク安定性に影響し得るため、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒においては、粒度が所定値以上である金属炭酸塩や金属フッ化物の含有量も規定する。

[0027] すなわち、粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、6.0質量%以上であれば、溶滴をスムーズに移行させることができ、また、アーク安定性が良好なものとなり、溶接作業性を向上させる効果を十分に得ることができる。

ただし、上記の $C_{CO_2, 75\mu m}$ および $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む。

[0028] なお、粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対して大きすぎる場合に

は、スパッタの増加や、製造過程において、被覆剤の塗装性への影響が懸念されることから、15.0質量%以下であることが好ましく、12.0質量%以下であることがより好ましい。

[0029] また、上記したスムーズな溶滴移行や良好なアーク安定性の効果をより十分に得るためには、粒度が $106\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, 106\mu\text{m}}$ と、粒度が $106\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{\text{F}, 106\mu\text{m}}$ の合計が、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対し、5.0質量%以上であることが好ましい。一方、上記したスパッタの増加や、製造過程において、被覆剤の塗装性への影響が懸念されることから、上記値は9.0質量%以下であることが好ましい。

[0030] 上記したスムーズな溶滴移行や良好なアーク安定性の効果を更に十分に得るためには、粒度が $150\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, 150\mu\text{m}}$ と、粒度が $150\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{\text{F}, 150\mu\text{m}}$ の合計が、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対し、2.5質量%以上であることが好ましく、3.0質量%以上であることがより好ましい。

また、上記したスパッタの増加や、製造過程において、被覆剤の塗装性への影響が懸念されることから、上記値は5.0質量%以下であることが好ましく、4.0質量%以下であることがより好ましい。

[0031] なお、上記金属炭酸塩および上記金属フッ化物は、少なくとも1種が被覆剤中に含まれていればよいが、両方含まれるものであってもよい。また、本実施形態で説明する「粒度」は、JIS Z 8801-2006に準じた測定方法を用いて測定したものである。

また、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩および金属フッ化物の粒子サイズ(粒度)は、一般的には最大 $600\mu\text{m}$ 程度である。

[0032] $<D_1$ に対する D_2 の比率(D_2/D_1): 0.40以下(0の場合を含む)
>

上述の通り、金属炭酸塩および金属フッ化物の粒子サイズは、アーク溶接

後における保護筒の形状にも影響を与える。すなわち、金属炭酸塩および金属フッ化物の粒子サイズおよびその含有量を規定することにより、アーク溶接後における保護筒を良好な形状で形成することができる。これにより、アーク指向性がより一層良好なものとなり、アーク安定性が向上する。

[0033] ここで、図を用いて、2種類の被覆アーク溶接棒を使用してアーク溶接を実施した場合における、被覆アーク溶接棒の状態を説明する。なお、図1Aと図1Bにおいて、同一物には同一符号を付して、その詳細な説明は省略する。

[0034] 図1Aは、溶接時にアークの偏向が抑制された場合の被覆アーク溶接棒の状態を示す断面図である。図1Aに示すように、被覆アーク溶接棒1は、心線2と、心線2を被覆する被覆剤3とを有する。被覆剤3は、金属炭酸塩および金属フッ化物から選択される少なくとも1種の化合物を含有する。そして、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ と、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量(F換算値) $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ の合計が、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対し、6.0質量%以上(ただし、前記 $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ および前記 $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む)となるように、被覆剤3の成分が規定されている。

[0035] 上記被覆アーク溶接棒1を用い、母材5に対してアーク溶接を実施した場合、被覆剤3に含有される特定の化合物(すなわち、金属炭酸塩および金属フッ化物から選択される少なくとも1種)の粒度およびその含有量の合計を、上記の通りに限定しているため、上記化合物の比表面積は小さくなる結果、被覆剤3、厳密にいうと心線2の先端部2aよりも突出している部分である、被覆剤3の一部である保護筒6の溶融または軟化は進みにくくなり、アーク溶接時に保護筒6が残存しやすくなる。

このため、被覆剤3の片溶けが抑制され、被覆剤3が被覆アーク溶接棒1の周方向全体にわたって均一に溶融していく。その結果、溶接中または溶接後において、保護筒6の内周面で囲まれる空間は、被覆アーク溶接棒の断面視において均一な円錐形に近づく。結果、保護筒6の先端3aと心線2の先

端部 2 a との溶接棒長手方向の距離 D は、いずれの位置をとってもほぼ同等の長さとなり、ばらつきが少ないものとなる。このため、溶接中においてアーク 4 の揺らぎが抑制され、アーク指向性が良好なものとなり、アーク安定性が向上する。

[0036] また、後述するように、被覆剤 3 中に金属炭酸塩および金属フッ化物の両方が含まれる場合に、被覆剤 3 中に含まれる、金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ と金属フッ化物の総含有量 (F 換算値) $C_{\text{F}, \text{total}}$ の合計に対する、金属フッ化物の総含有量 (F 換算値) $C_{\text{F}, \text{total}}$ の比率 $\{C_{\text{F}, \text{total}} / (C_{\text{CO}_2, \text{total}} + C_{\text{F}, \text{total}})\}$ が、適切に調整されていると、被覆剤 3 の軟化点を高くすることができるので、適切な長さまで保護筒 6 の形状を均一に保持することができ、保護筒 6 がガイドとなってアークの指向性を高めることができる。これにより、更に溶滴の揺動 (ふらつき) が抑制され、良好なアーク安定性が維持できることで、溶接作業性が向上する。

[0037] 一方、図 1 B は、溶接時にアークの偏向が顕著に発生した場合の被覆アーク溶接棒の状態を示す断面図である。図 1 B に示すように、金属炭酸塩および金属フッ化物の粒度およびその含有量が、上記のように調整されていない被覆剤 1 3 を有する被覆アーク溶接棒 1 1 を用いてアーク溶接を実施した場合には、溶接後に残存している被覆剤 1 3 (保護筒 1 6) の最先端部 1 3 a と最後端部 1 3 b は、心線 2 の先端部 2 a からの距離にばらつきが生じる。その結果、溶接中においてアーク 1 4 の偏向が顕著に発生することから、アーク安定性が低下する。

[0038] 本実施形態においては、被覆アーク溶接棒の使用後における、心線 2 の周囲に残存している被覆剤 3, 1 3 の長さ (または、保護筒 6, 1 6 の長さ) のばらつき等について規定する。よって、ばらつきを数値化する方法について、図 1 B を用いて詳細に説明する。

[0039] 図 1 B に示すように、被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側 (図 1 B 中の被覆アーク溶接棒 1 1 の下側) において、心線 2 の先端部 2 a と、心線 2 の周囲に残存している被覆剤 1 3 の最先端部 1 3 a との、溶接棒長

手方向（図 1 B 中、上下方向）における距離を D_1 とし、心線 2 の周囲に残存している被覆剤 1 3 の最先端部 1 3 a と、心線 2 の周囲に残存している被覆剤 1 3 の最後端部 1 3 b との、溶接棒長手方向における距離を D_2 とする。

[0040] そして、 D_1 に対する D_2 の比率 (D_2/D_1) が 0.40 以下を満たす場合、長さのばらつきが少ない保護筒 1 6 が良好な形状で形成されていることを意味する。この要件を満たす場合には、アークの指向性が得られ、アーク安定性が向上する。なお、 D_1 に対する D_2 の比率 (D_2/D_1) は、好ましくは 0.30 以下であり、より好ましくは 0.25 以下であり、最も好ましいのは 0 の場合である。

[0041] ここで、被覆アーク溶接棒の使用後（すなわち、アーク溶接の終了後）とは、アーク溶接開始後、5 秒以上の連続アーク発生期間を経た後に、被覆剤が残存している状態をいう。

一般的に、被覆アーク溶接棒は一度使用した後も、被覆剤が残っている限りは、繰り返し使用する場合がある。

なお、被覆アーク溶接棒の使用後には、心線 2 の先端部にスラグが付着し得るが、本実施形態においては、心線 2 の先端部 2 a はスラグを取り除いた状態で規定され、その形状は略平面状となっている。

また、本実施形態で説明する「最先端部」とは、被覆剤 3, 1 3 の先端のうち、最も突き出ている部分をいい、「最後端部」とは、被覆剤 3, 1 3 の先端のうち、最も突き出していない部分をいう。

[0042] $<D_1: 2.2\text{ mm 以下}>$

被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、心線 2 の周囲には被覆剤 1 3 がある程度以上の長さで残存し、保護筒 1 6 が形成されていることが好ましい。しかし、心線 2 の先端部 2 a と、心線 2 の周囲に残存している被覆剤 1 3 の最先端部 1 3 a との溶接棒長手方向の距離 D_1 が 2.2 mm を超えると、保護筒 1 6 が過剰に長くなることが影響し、心線と母材間の距離が開き、アーク長が長くなる。このアーク長が過剰に長くなると、アーク長が変動し易く、アーク切れの発生や、アーク安定性が低下する。結果と

して、ビード外観の劣化やスパッタが増加する等、溶接作業性が悪くなるおそれがある。したがって、上記 D_1 は2.2 mm以下とすることが好ましく、1.7 mm以下とすることがより好ましい。なお、上記 D_1 が極端に小さすぎると、アークの指向性が得られなくなり、アーク安定性が悪くなるため、 D_1 は1.0 mm以上であることが好ましく、1.3 mm以上であることがより好ましい。

[0043] <被覆アーク溶接棒における心線の直径 d に対する D_1 の比率(D_1/d): 1.3以下>

一般的に、被覆アーク溶接棒における心線の直径 d (図1B中の d を参照)と、上記 D_1 は比例関係にある。良好なアーク安定性を維持するために、 D_1/d は1.3以下であることが好ましく、1.0以下であることがより好ましく、0.8以下であることが更に好ましい。また、上記直径 d に対し、 D_1 が極端に小さすぎると、アークの指向性が得られなくなり、アーク安定性が悪くなるため、 D_1/d は0.1以上であることが好ましく、0.3以上であることがより好ましい。

なお、本実施形態において、上記直径 d は、特に制限されないが、一般的に使用される直径 d の範囲から、3.0~5.0 mmとすることが好ましい。

[0044] < S_1 に対する S_2 の比率(S_2/S_1): 0.06以上0.15以下>

上述の本実施形態は、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩および金属フッ化物から選択される少なくとも1種の粒子のうち、粒子サイズの大きなものが所定量含まれるように規定することで、スムーズな溶滴の移行や、良好なアーク安定性を実現したものである。

一方、本実施形態においては、これらの性能を実現するための別の規定方法として、以下のものを採用する。具体的には、被覆アーク溶接棒は、溶接棒長手方向に垂直な断面において、被覆剤全体の断面積を S_1 とし、円相当径が $30\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種の総面積を S_2 としたとき、 S_1 に対する S_2 の比率(S_2/S_1)が、0.06

以上0.15以下を満たすことを特徴とする。

[0045] S_1 に対する S_2 の比率(S_2/S_1)が、0.06以上であると、溶滴の離脱を促進する効果がより顕著に現れ、よりスムーズな溶滴移行を実現できる。したがって、上記 S_2/S_1 は好ましくは0.06以上とし、より好ましくは0.07以上である。

一方、上記 S_2/S_1 が0.15以下であると、所望の性能の溶接金属を得ることが容易になる。したがって、上記 S_2/S_1 は0.15以下とし、より好ましくは0.10以下である。

[0046] なお、被覆剤中には、円相当径が30 μm 以上である金属フッ化物のみが上記範囲で含有されていても上記効果を得ることができるが、金属炭酸塩のみが上記範囲で含有されていることがより好ましい。また、金属炭酸塩と金属フッ化物との両方が、上記範囲で含有されていることが最も好ましい。

[0047] 上記 S_2/S_1 を上記の通り制御する方法としては、被覆剤の原料となる金属炭酸塩または金属フッ化物の粒度を調整する方法の他、金属炭酸塩または金属フッ化物の含有量を調整する方法、被覆アーク溶接棒の製造時において被覆剤の塗装圧を調整する方法などがある。そして、これらを単独で又は組み合わせることにより、上記 S_2/S_1 を制御することができる。しかし、上記製造方法はあくまで一例であり、必ずしもこれらに限定されない。

[0048] なお、本実施形態において「円相当径」とは、JIS Z 8827-1で定められているように、粒子の投影面積と等しい面積をもつ円の直径を示し、コンピュータによる画像解析ソフトなどで求めることができる。

また、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩および金属フッ化物の粒子サイズ（円相当径）は、一般的には最大600 μm 程度である。

[0049] ここで、上記 S_2/S_1 は、例えば、次のようにして測定することができる。まず、日本電子株式会社製 WD/EDコンバイン 電子プローブマイクロアナライザ(Electron Probe Micro Analyzer; EPMA) JXA-8200を使用し、加速電圧15 kV、照射電流 5×10^{-10} Aで溶接棒断面を分析する（倍率は400倍）。そして、溶接棒

の断面全体に対し、画像解析ソフト J T r i m を用いて、円相当径が $30\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも 1 種の領域と、それ以外の領域とを二値化する。これにより、被覆剤全体の断面積 S_1 に対する、円相当径が $30\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも 1 種の総面積 S_2 (すなわち、 S_2/S_1) を算出することができる。

[0050] <被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$: 6.0 質量%以上 26.0 質量%以下>

被覆アーク溶接棒の被覆剤に含まれる CaCO_3 や BaCO_3 等の金属炭酸塩は、アーク発生点近傍での熱分解により、シールドガス (遮蔽ガス) である CO_2 を発生させ、大気中の酸素、窒素、水分から溶融池を保護する作用を有する成分である。例えば、 CaCO_3 は約 825°C で分解し、 CaO と CO_2 ガスを発生する。被覆剤中の金属炭酸塩の含有量が過少であると、シールド不良によって、大気の巻き込みが起こることで、溶接作業性の劣化、ブローホールなどの溶接欠陥や、溶接金属の衝撃値低下の原因となる。

一方、被覆剤中の金属炭酸塩の総含有量が過剰であると、溶接中に被覆剤が溶融し難くなる。すなわち、前述の D_1 の距離が長くなるため、心線の溶融界面と溶融池との距離が過剰に離れ、アーク長が適正条件から外れる。これにより、アーク切れの発生や、アーク安定性の低下が起こり、スパッタが増加するおそれがある。

また、上述の通り、所定サイズ以上の金属炭酸塩を含有することにより、溶滴移行周期を安定させることができる。

[0051] 被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ が 6.0 質量%以上の場合、これらの効果を十分に得ることができる。したがって、上記金属炭酸塩の含有量 $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ は、 CO_2 換算値で 6.0 質量%以上であることが好ましく、10.0 質量%以上であることがより好ましい。

一方、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の金属炭酸塩の総

含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ が 26.0 質量%以下であると、よりアーク安定性が向上し、スパッタ発生量が減少する。したがって、上記金属炭酸塩の含有量 $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ は、 CO_2 換算値で 26.0 質量%以下であることが好ましく、25.0 質量%以下であることがより好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{\text{electrode, total}}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) は、4.0 質量%以上、10.0 質量%以下であることが好ましく、4.5 質量%以上、9.0 質量%以下であることがより好ましく、4.5 質量%以上、7.5 質量%以下であることが更に好ましい。

[0052] 本実施形態の被覆剤として用いられる金属炭酸塩としては、炭酸カルシウム (CaCO_3)、炭酸バリウム (BaCO_3)、炭酸ストロンチウム (SrCO_3)、炭酸マグネシウム (MgCO_3) および炭酸マンガン (MnCO_3) から選択される少なくとも1種であることが好ましい。製造コストの観点から、 CaCO_3 および BaCO_3 を用いることがより好ましく、 CaCO_3 を用いることが最も好ましい。上記種々の金属炭酸塩は、いずれか1種でも複数を組み合わせて使用してもよいが、複数の金属炭酸塩を使用する場合は、 CO_2 換算値の総含有量で、6.0 質量%以上 26.0 質量%以下の範囲内となるようにすることが好ましい。

[0053] 金属炭酸塩として CaCO_3 を被覆剤中に含有する場合に、被覆剤中の CaCO_3 の含有量は、被覆剤全質量に対し、 CO_2 換算値で、6.0 質量%以上 26.0 質量%以下であることが好ましく、10.0 質量%以上 25.0 質量%以下であることがより好ましい。

なお、被覆アーク溶接棒中の CaCO_3 の含有量は、溶接棒全質量あたり、10.0 質量%以上、20.0 質量%以下であることが好ましく、11.0 質量%以上、19.0 質量%以下であることがより好ましく、11.0 質量%以上、17.0 質量%以下であることが更に好ましい。

[0054] また、金属炭酸塩として BaCO_3 を被覆剤中に含有する場合に、被覆剤中の BaCO_3 の含有量は、溶接作業性の観点から、被覆剤全質量に対し、 CO_2 換算値で、6.0 質量%以上 26.0 質量%以下の範囲内となるようにすることが好ましい。

₂換算値で、0.0質量%超、4.0質量%以下であることが好ましい。

[0055] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の金属フッ化物の総含有量（F換算値） $C_{F, total}$ ：15.0質量%以下（0質量%を含む）>

被覆アーク溶接棒の被覆剤に含まれる CaF_2 等の金属フッ化物は、スラグの融点を低下させ、スラグの流動性を向上させて、ビード形状を良好にする効果を有する成分である。また、金属フッ化物は、アーク熱により分解して還元性の遮蔽ガス（フッ化ガス）を多く発生させることで、溶接金属中の酸素や水素量の上昇を抑制すると共に、アーク安定性を向上させる作用を有する成分である。

更に、金属フッ化物を被覆剤に添加すると、分解したフッ素が溶融金属や溶融スラグ中の水素と反応し、溶融金属中の水素分圧を下げるができるため、溶接金属を低水素化することもできる。更にまた、上述の通り、所定以上の大きさの金属フッ化物が被覆剤中に含有されることにより、溶滴移行性を向上させることができる。ただし、被覆剤中の金属フッ化物の含有量が過剰であるとスラグの流動性が過大となり、スラグ巻き込み等の不具合が発生し、溶接品質が劣化するおそれがある。

[0056] 被覆剤中には、必ずしも金属フッ化物が含有される必要はないので、下限は特に設けず0.0質量%でも良い。しかしながら、これらの効果を十分に得るためには、金属フッ化物は添加した方が良く、その含有量は、0.0質量%超であることが好ましく、3.0質量%以上であることがより好ましい。

一方、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の金属フッ化物の総含有量（F換算値） $C_{F, total}$ を15.0質量%以下とすると、より良好なアークの安定性を得ることができ、溶接作業性が良好となる。したがって、上記金属フッ化物の含有量 $C_{F, total}$ は、15.0質量%以下であることが好ましく、7.5質量%以下であることがより好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の金属フッ化物の総含有量（F換算値）

は、0.5質量%以上、2.7質量%以下であることが好ましく、0.7質量%以上、2.5質量%以下であることがより好ましく、0.9質量%以上、2.3質量%以下であることが更に好ましい。

[0057] なお、本実施形態の被覆剤として用いられる金属フッ化物としては、フッ化カルシウム (CaF_2)、フッ化バリウム (BaF_2)、フッ化ストロンチウム (SrF_2) およびフッ化マグネシウム (MgF_2) から選択される少なくとも1種であることが好ましい。製造コストの観点から、 CaF_2 および BaF_2 を用いることがより好ましく、 CaF_2 を用いることが最も好ましい。上記種々の金属フッ化物は、いずれか1種でも複数を組み合わせて使用してもよいが、複数の金属フッ化物を使用する場合は、F換算値の総含有量で、15.0質量%以下(0質量%を含む)の範囲内となるようにすることが好ましい。

[0058] 金属フッ化物として CaF_2 を被覆剤中に含有する場合に、被覆剤中の CaF_2 の含有量は、被覆剤全質量に対し、F換算値で、0.0質量%超、15.0質量%以下であることが好ましく、3.0質量%以上7.5質量%以下であることがより好ましい。

なお、被覆アーク溶接棒中の CaF_2 の含有量は、溶接棒全質量あたり、1.0質量%以上、6.0質量%以下であることが好ましく、1.5質量%以上、5.5質量%以下であることがより好ましく、1.8質量%以上、5.2質量%以下であることが更に好ましい。

[0059] <被覆剤中の、金属炭酸塩の総含有量 (CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ と金属フッ化物の総含有量 (F換算値) $C_{\text{F}, \text{total}}$ の合計に対する、金属フッ化物の総含有量 (F換算値) $C_{\text{F}, \text{total}}$ の比率 $\{C_{\text{F}, \text{total}} / (C_{\text{CO}_2, \text{total}} + C_{\text{F}, \text{total}})\}$: 0.10以上0.30以下>

被覆剤が、金属炭酸塩および金属フッ化物の両方を含有する場合に、金属フッ化物と金属炭酸塩との質量比を適切に調整することにより、フラックスの軟化点を上昇させることができる。その結果、保護筒を所望の長さで安定して形成することができ、アーク指向性を高めることができる。これにより

、溶滴の揺動がより小さくなり、良好なアーク安定性が得られ、溶接作業性が向上する。

[0060] 上記比率 $\{C_{F, total} / (C_{CO2, total} + C_{F, total})\}$ が 0.10 以上であり、0.30 以下の範囲であると、フラックスの軟化点が適正であり保護筒を十分な長さで残存させることができ、より溶接作業性が良好になる。したがって、上記比率は、0.10 以上であることが好ましい。また、上記比率は、0.30 以下であることが好ましく、0.15 以下であることがより好ましい。

[0061] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Si および Si 化合物の総含有量 (Si 換算値) $C_{Si, total}$: 6.0 質量%以上 9.0 質量%以下>

Si および Si 化合物は、被覆剤中において SiO_2 となって触媒として作用し、金属炭酸塩 ($CaCO_3$) の分解を促進する化合物である。例えば、 $CaCO_3$ は SiO_2 の存在下において、 $CaO \cdot SiO_2$ と CO_2 ガスを生成するが、粒度が $75 \mu m$ 以上の $CaCO_3$ が所定以上の含有量で含有されていると、上述の通り、単位時間あたりの CO_2 ガス発生量が増加し、ピンチ力が効率的に働くことにより、溶滴のくびれ形成が促進される。

また、 $CaCO_3$ が熱分解すると、これにより生じた CaO と SiO_2 が反応し、この反応熱により、未分解の $CaCO_3$ の熱分解が促進される。

更に、Si および Si 化合物は、被覆剤中において SiO_2 となって金属フッ化物と反応し、フッ化ガスを生成する。例えば、 $2CaF_2$ と SiO_2 が反応し、 $2CaO$ と SiF_4 ガスを生成する。しかし、この反応により発生する SiF_4 ガスは、上記金属炭酸塩が SiO_2 を触媒として生成した CO_2 ガスと比較して体積が小さいため、溶滴を離脱させる作用は比較的小さい。

[0062] 上記の通り、本実施形態では、被覆剤中に粒度が $75 \mu m$ 以上である金属フッ化物の総含有量、または、溶接棒長手方向に垂直な断面における、円相当径が $30 \mu m$ 以上である金属フッ化物の総面積を規定しており、これは粒度が大きい金属フッ化物を被覆剤中に含有させることを意味している。そし

て、これにより、ガス発生量を増加させて、溶滴のくびれ形成を促進させている。

なお、粒度が大きい金属フッ化物を被覆剤中に含有させることにより、更に以下の効果も得ることができる。すなわち、粒度が大きい金属フッ化物は比表面積が小さいため、粒度が小さい金属フッ化物と比較して、金属フッ化物（例えば CaF_2 ）と SiO_2 との反応を抑制することができる。

上記の通り、金属フッ化物と SiO_2 が反応することにより発生する SiF_4 ガスは、上記金属炭酸塩が SiO_2 を触媒として生成した CO_2 ガスと比べて発生量が顕著でない。そこで、例えば CaF_2 と SiO_2 との反応を抑制することにより、金属炭酸塩の触媒として作用させる SiO_2 量を十分に確保することができ、より一層スムーズな溶滴の離脱を促進することができる。

[0063] 被覆剤が、更に Si および Si 化合物のうち少なくとも1種を含有する場合に、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の Si および Si 化合物の総含有量（ Si 換算値） $C_{\text{Si, total}}$ が6.0質量%以上であると、 CO_2 ガスおよびフッ化ガスの発生をより促進できる。したがって、上記 $C_{\text{Si, total}}$ は6.0質量%以上であることが好ましい。

一方、上記 $C_{\text{Si, total}}$ が9.0質量%以下であると、溶接金属において、所定の機械性能や安定したビード形状を確保することがより容易となる。したがって、上記 $C_{\text{Si, total}}$ は9.0質量%以下であることが好ましく、8.0質量%以下であることがより好ましい。

[0064] 続いて、本実施形態に係る被覆剤には、上記金属炭酸塩、金属フッ化物、 Si および Si 化合物の他に、合金および酸化物等を含有させることができる。その他の成分について、以下に説明する。

なお、以下の説明において、被覆剤中の各成分量は、被覆剤全質量あたりの含有量として規定される。また、被覆アーク溶接棒全体中の各成分量は、溶接棒全質量あたりの含有量として規定される。

[0065] <被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の Fe ：0.0質量%以上（0質量%を含む）、35.0質量%以下>

Fe は、被覆アーク溶接棒の被覆剤において、脱酸作用や合金添加による溶接金属の機械的性質の向上、および金属溶着量の増加による溶接効率の向上を目的として添加される成分であり、被覆剤中において鉄粉として含有されるほか、Fe-Si や Fe-Mn 等として含有される。被覆剤中の Fe は上記効果の必要性に応じて任意で添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、0.0 質量%以上であれば良い。しかしながら、更なる機械的性能の向上を考慮する場合には、溶接金属中の O 含有量の低減を狙うべく、0.1 質量%以上添加することが好ましい。また、被覆剤中の Fe を 35.0 質量%以下とすることで、熔融池へ移行する溶滴サイズを小さくすることができ、より溶接作業性が向上する。

したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Fe 含有量の下限は、0.1 質量%以上であることがより好ましい。また、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Fe 含有量の上限は、被覆剤全質量あたり、35.0 質量%以下であることが好ましく、32.0 質量%以下であることがより好ましく、30.0 質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の Fe 含有量は、60.0 質量%以上、85.0 質量%以下であることが好ましく、70.0 質量%以上、85.0 質量%以下であることがより好ましく、72.0 質量%以上、85.0 質量%以下であることが更に好ましい。

[0066] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Al : 0.0 質量%以上 (0 質量%を含む)、1.0 質量%以下>

Al (金属 Al) は、溶接金属の耐割れ性を向上させるとともに、耐腐食性・耐酸化性も向上させる効果を有する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、0.0 質量%以上であれば良い。被覆剤中に Al を添加する場合は、被覆剤中の Al 含有量が 1.0 質量%以下であると、上記効果に加え、溶接金属は十分な延性を得ることができる。

したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のAl含有量は、1.0質量%以下であることが好ましく、0.8質量%以下であることがより好ましく、0.6質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中のAl含有量は、0.50質量%以下（0質量%を含む）であることが好ましく、0.30質量%以下であることがより好ましく、0.10質量%以下であることが更に好ましい。

[0067] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のNi：0.0質量%以上（0質量%を含む）、4.0質量%以下>

Niは、溶接部の疲労強度を向上させる効果を有する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、0.0質量%以上であれば良い。被覆剤中にNiを添加する場合は、被覆剤中のNi含有量が4.0質量%以下であると、溶接金属の高温割れをより抑制することができる。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のNi含有量は、4.0質量%以下であることが好ましく、3.0質量%以下、2.5質量%以下であることがより好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中のNi含有量は、1.00質量%以下であることが好ましく、0.60質量%以下であることがより好ましく、0.30質量%以下であることが更に好ましい。

[0068] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のMn：1.5質量%以上、6.0質量%以下>

Mnは、合金材の強度を向上させる効果を有する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、0.0質量%以上であれば良い。被覆剤中のMn含有量が1.5質量%以上、6.0質量%以下の範囲であると、溶接金属の強度を維持しつつ、高温割れを抑制することができる。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のMn含有量は、1.5質量%以上、6.0質量%以下であることが好ましく、1

． 7 質量％以上、 4． 8 質量％以下であることがより好ましく、 1． 8 質量％以上、 4． 2 質量％以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の Mn 含有量は、 0． 8 質量％以上、 1． 8 質量％以下であることが好ましく、 0． 8 質量％以上、 1． 6 質量％以下であることがより好ましく、 0． 8 質量％以上、 1． 4 質量％以下であることが更に好ましい。

[0069] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Si : 1． 0 質量％以上、 9． 0 質量％以下>

Si (金属 Si) は、脱酸剤であり、溶接金属の酸素量低減および強度向上の効果を有する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、 0． 0 質量％以上であれば良い。しかし、被覆剤中の Si 含有量が 1． 0 質量％以上、 9． 0 質量％以下の範囲であると、熔融池へ移行する溶滴サイズをより小さくすることができ、溶接作業性が良好になる。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Si 含有量は、 1． 0 質量％以上、 9． 0 質量％以下であることが好ましく、 2． 4 質量％以上、 7． 0 質量％以下であることがより好ましく、 2． 8 質量％以上、 6． 6 質量％以下が更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の Si 含有量は、 0． 8 質量％以上、 2． 2 質量％以下であることが好ましく、 1． 0 質量％以上、 2． 0 質量％以下であることがより好ましく、 1． 1 質量％以上、 1． 9 質量％以下であることが更に好ましい。

[0070] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Mo : 0． 0 質量％以上 (0 質量％を含む)、 2． 0 質量％以下>

Mo は、溶接金属の強度を向上させる効果を有する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、 0． 0 質量％以上であれば良い。被覆剤中に Mo を添加する場合は、被覆剤中の Mo 含有量が 2

、0質量%以下であると、強度を維持しつつ、溶接割れをより抑制することができる。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のMo含有量は、2.0質量%以下であることが好ましく、1.2質量%以下であることがより好ましく、0.8質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中のMo含有量は、0.65質量%以下（0質量%を含む）であることが好ましく、0.45質量%以下であることがより好ましく、0.30質量%以下であることが更に好ましい。

[0071] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Al_2O_3 ：0.02質量%以上、3.0質量%以下>

Al_2O_3 は、アーク安定効果やスラグ形成剤としての効果を有する成分である。被覆剤中の Al_2O_3 含有量が3.0質量%以下であると、より高いアーク安定効果が得られるようになる。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Al_2O_3 含有量は、0.02質量%以上、3.0質量%以下であることが好ましく、0.03質量%以上、2.6質量%以下であることがより好ましく、0.05質量%以上、2.0質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の Al_2O_3 含有量は、0.01質量%以上、0.90質量%以下であることが好ましく、0.02質量%以上、0.80質量%以下であることがより好ましく、0.02質量%以上、0.70質量%以下であることが更に好ましい。

[0072] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の SiO_2 ：1.5質量%以上、15.0質量%以下>

SiO_2 は、造滓剤や粘着剤として作用する成分である。被覆剤中の SiO_2 が1.5質量%以上の場合、前述した効果を十分に得ることができる。また、被覆剤中の SiO_2 を15.0質量%以下とすると、スラグ剥離性がより向上する。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のS

SiO_2 含有量は、1.5質量%以上、15.0質量%以下であることが好ましく、2.0質量%以上、10.0質量%以下であることがより好ましく、4.0質量%以上、8.0質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{\text{electrode, total}}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の SiO_2 含有量は、溶接棒全質量あたり、0.40質量%以上、4.00質量%以下であることが好ましく、0.60質量%以上、3.60質量%以下であることがより好ましく、0.80質量%以上、3.20質量%以下であることが更に好ましい。

[0073] <被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の TiO_2 : 0.2質量%以上、10.0質量%以下>

TiO_2 は、被覆アーク溶接棒の被覆剤において、流動性の良いスラグを生成し、ビード表面に光沢を与え、溶接金属に美しい外観を与える作用を有する成分である。また、アークの偏向（ふらつき）を抑制し、良好な溶接作業性を得ることに寄与する成分でもある。被覆剤中の TiO_2 含有量を、被覆剤全質量あたり、0.2質量%以上、10.0質量%以下の範囲とすると上記の効果がより向上する。したがって、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の TiO_2 含有量は、0.2質量%以上、10.0質量%以下であることが好ましく、0.5質量%以上、8.0質量%以下であることがより好ましく、1.0質量%以上、6.0質量%以下が更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{\text{electrode, total}}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の TiO_2 含有量は、1.00質量%以上、4.00質量%以下であることが好ましく、1.20質量%以上、3.00質量%以下であることがより好ましく、1.40質量%以上、2.60質量%以下であることが更に好ましい。

[0074] <被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対する、被覆剤中の MgO : 0.01質量%超、4.0質量%以下>

MgO は、スラグの剥離性を高める効果を有する成分である。被覆剤中の MgO 含有量が0.01質量%超、4.0質量%以下であると、上記の効果が

がより向上する。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の MgO 含有量は、 0.01 質量%超、 4.0 質量%以下であることが好ましく、 0.2 質量%以上、 1.0 質量%以下であることがより好ましく、 0.5 質量%以上、 0.8 質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の MgO 含有量は、 0.01 質量%以上、 1.00 質量%以下であることが好ましく、 0.01 質量%以上、 0.80 質量%以下であることがより好ましく、 0.01 質量%以上、 0.50 質量%以下であることが更に好ましい。

[0075] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の K_2O 、 Li_2O および Na_2O の総含有量： 1.6 質量%以上、 3.6 質量%以下>

K_2O 、 Li_2O および Na_2O は、被覆剤の無機粘結剤として使用される水ガラスに多く含有される成分であり、粉体原料としても添加され、良質なアーク安定性や適度なアーク吹付力を得ることにより、アーク安定性を向上させるために有効な成分である。上記効果をより高めるためには、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の K_2O 、 Li_2O および Na_2O の総含有量は、 1.6 質量%以上、 3.6 質量%以下であることが好ましく、 1.8 質量%以上、 3.2 質量%以下であることがより好ましく、 2.0 質量%以上、 3.0 質量%以下であることが更に好ましい。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の K_2O 、 Li_2O および Na_2O の総含有量は、 0.20 質量%以上、 1.40 質量%以下であることが好ましく、 0.40 質量%以上、 1.20 質量%以下であることがより好ましく、 0.60 質量%以上、 1.00 質量%以下であることが更に好ましい。

また、 Li_2O は被覆アーク溶接棒の耐吸湿性を向上させ、溶接金属中の拡散性水素を低減させる効果もある。

[0076] <被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の C ： 0.0 質量%以上（ 0 質量%を含む）、 0.15 質量%以下>

Cは、溶接金属の強度向上に寄与する成分であり、必要に応じて添加すればよく、特に下限を規定する必要はなく、0.0質量%以上であれば良い。被覆剤中にCを添加する場合は、溶接金属の延性低下や、溶接割れの抑制のためには、0.15質量%以下であると良い。したがって、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中のC含有量は、0.0質量%以上、0.15質量%以下であることが好ましい。また、溶接作業性向上の観点から、0.01質量%以上、0.10質量%以下がより好ましく、0.02質量%以上、0.08質量%以下が更に好ましい。なお、C源としては、有機物、各種鉱物、合金剤、グラファイト等が例に挙げられる。

なお、上記と同様の理由により、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中のC含有量は、0.15質量%以下（0質量%を含む）であることが好ましく、0.01質量%以上、0.10質量%以下であることがより好ましく、0.02質量%以上、0.08質量%以下であることが更に好ましい。

[0077] <残部>

本実施形態における被覆剤の残部は、不可避免の不純物である。不可避免の不純物としては、例えば、 Nb_2O_5 、 V_2O_5 、 ZrO_2 、 $Fe_2O_3 \cdot FeO$ 、 SnO 、P、S等がある。また、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の不可避免の不純物の総含有量は、5.0質量%以下（0質量%を含む）とすることが好ましい。また、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の Nb_2O_5 は0.3質量%以下（0質量%を含む）、 V_2O_5 は0.3質量%以下（0質量%を含む）、 ZrO_2 は0.4質量%以下（0質量%を含む）、 $Fe_2O_3 \cdot FeO$ は3.50質量%以下（0質量%を含む）に制限されていることがより好ましい。なお、不純物は溶接棒の設計上で意図しない物も含める。例えば、イルミナイト系被覆アーク溶接棒においては、イルミナイト原料を被覆剤中に添加するため、溶接棒の設計上で意図しない $Fe_2O_3 \cdot FeO$ が最大で3.50質量%含まれることがあるが、これらは不純物としている。

[0078] 次に、心線および被覆率について説明する。

[0079] [心線]

本実施形態における心線は特に限定されないが、例えば直径 d が $2.6\text{ mm} \sim 6.0\text{ mm}$ のものを使用することができ、特に直径が 4.0 mm のものを好適に使用することができる。本実施形態の心線の組成について、以下に説明する。

[0080] $<O : 0.0005\text{ 質量\%以上、}0.0150\text{ 質量\%以下}>$

心線の O 含有量が過剰であると、得られる溶接金属中の O 量が過剰となり、溶接金属の靱性が低下するおそれがある。また、心線中の酸素が被覆剤に添加された脱酸剤である $Fe-Si$ や $Fe-Mn$ と反応してスラグを生成するため、スラグ量が増加してスラグ流動性や溶接作業性の劣化を招き、更には溶接金属の Si 、 Mn 量の低下や酸素量の増加による機械的性質の劣化を招くおそれがある。

また、熔融金属の流動性が高くなり、立向や上向等の姿勢の溶接で、溶接金属のたれ落ちが発生しやすくなり、溶接作業性が低下するおそれがある。一方、心線の O 含有量が過少であると、アーク力による熔融池の拡張が不十分となり、合金成分が均一に分布した溶接金属が得られなくなる。

以上の観点より、心線の全質量に対する心線の O 含有量は、 $0.0005\text{ 質量\%以上}$ であることが好ましく、 $0.0013\text{ 質量\%以上}$ であることがより好ましく、 $0.0016\text{ 質量\%以上}$ であることが更に好ましい。また、心線の O 含有量は、 $0.0150\text{ 質量\%以下}$ であることが好ましく、 $0.0125\text{ 質量\%以下}$ であることがより好ましく、 $0.0100\text{ 質量\%以下}$ であることが更に好ましい。

[0081] $<\text{その他の成分}>$

特に限定されないが、本実施形態における心線としては、例えば Fe を主成分とする鉄系心線を好適に使用することができ、具体的には $JIS\ G3503 : 2006$ に規定されている $SWRY11$ を心線として用いることができる。

なお、心線中には、上記OやFeの他に、C、Si、Mn、P、S、N、Cu等が含有されることがある。心線の全質量に対する心線のC含有量は0.09質量%以下、Si含有量は0.03質量%以下（0質量%を含む）、Mn含有量は0.35質量%以上、0.65質量%以下、P含有量は0.020質量%以下（0質量%を含む）、S含有量は0.023質量%以下（0質量%を含む）、Cu含有量は0.20質量%以下（0質量%を含む）に制限されることが好ましい。

[0082] 〔被覆率〕

本実施形態において、被覆剤の心線外周への被覆率は、特に制限はされないが、被覆剤の強度確保等の観点から、例えば20%以上とすることが好ましく、22%以上とすることがより好ましく、24%以上とすることが更に好ましい。また、アーク安定性等の観点から、例えば40%以下とすることが好ましく、38%以下とすることがより好ましく、36%以下とすることが更に好ましい。

[0083] また、本実施形態は、上記被覆剤中の成分が制御された被覆アーク溶接棒を用いたアーク溶接方法にも関する。本実施形態に係るアーク溶接方法において、使用する溶接棒の被覆剤中の成分（粒度および面積率等）、並びにアーク使用後に残存する被覆剤の長さ等を限定する理由については上記の通りであるため、記載を省略する。以下、本実施形態に係るアーク溶接方法における、特に溶接姿勢について説明する。

[0084] 〔溶接姿勢〕

<被覆アーク溶接棒を、母材に対し垂直または後退角を0°超、30°以下>

本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、母材に対し垂直（すなわち、母材に対して被覆アーク溶接棒が垂直に配置されること）または後退角を0°超、30°以下とした溶接姿勢によるアーク溶接において用いられることが好ましい。上述の通り、被覆アーク溶接棒を用いた溶接では、前進角や後退角等の様々な溶接姿勢で行われることが多く、これらの溶接姿勢で溶接した場

合（すなわち、被覆アーク溶接棒を適度に傾けた場合）、垂直にした場合と比べ、片溶けが顕著となる。本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、後退角を 0° 超、 30° 以下とした場合の被覆アーク溶接において、被覆アーク溶接棒が母材に対し垂直の場合と同程度の効果を得ることができる。なお、上記後退角は、 5° 以上 25° 以下とすることが更に好ましい。

なお、溶接姿勢を垂直とした場合においても、溶融池自体が母材に対して水平とならない場合があるものの、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、ロバスト性が高く、多少の外乱や誤差が生じたとしても片溶けを抑制することができる。

[0085] なお、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、イルミナイト系、高酸化チタン系、ライムチタニア系、鉄粉酸化チタン系、高セルロース系、低水素系および鉄粉低水素系等の種々の系統の溶接棒として適用可能である。ただし、低水素系の溶接棒は、拡散性水素の低減を目的として、被覆剤中にガス発生剤が多量に添加されているため、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒を低水素系の溶接棒に適用すると、ガス発生剤による溶滴離脱の効果が顕著となる。

更に、鉄粉低水素系の溶接棒は、所望の量の溶着金属を得るために、被覆剤に鉄粉が多量に添加されているものであり、鉄粉が溶滴を大きく成長させるためにスムーズな溶滴移行性が得られず、大きなスパッタが飛散するという問題点を有している。したがって、溶滴離脱性を向上させることができる、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒は、鉄粉低水素系の溶接棒として適用することが最も好ましい。

[0086] 上述した被覆アーク溶接棒の製造方法としては、特に限定されるものではない。例えば、被覆剤原料を水ガラスと共に混練し、これを心線外周に塗布し、乾燥および焼成を行うことにより、本実施形態に係る被覆アーク溶接棒を製造することができる。

実施例

[0087] 以下、実施例および比較例を挙げて本発明について詳細に説明するが、本

発明はこれらに限定されるものではない。

[0088] 〔被覆アーク溶接棒の作製、アーク溶接および各種パラメータの算出〕

直径が3.2～5.0 mmであるSWR Y 11を心線として準備し、表1に示す化学成分組成を有する被覆剤（被覆剤No. C1～C15）を、表3に示すように、26.9～35.6%の被覆率で心線外周に塗布し、乾燥させることにより、種々の被覆アーク溶接棒を製造した（表3における試験No. T1～T19）。

[0089] 表1に、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、被覆剤中の各成分の含有量を示す。なお、表1において、残部は不可避免の不純物であり、被覆剤中の各成分量は、被覆剤全質量 $C_{coat, total}$ あたりの含有量（質量%）を示している。

また、表4に、被覆アーク溶接棒の全質量 $C_{electrode, total}$ に対する、被覆アーク溶接棒中の各成分の含有量を示す。なお、表4において、残部は不可避免の不純物であり、被覆アーク溶接棒中の各成分量は、溶接棒全質量 $C_{electrode, total}$ あたりの含有量（質量%）を示している。

[0090] 更に、表2に、被覆剤中に含まれる、金属炭酸塩の含有量または金属フッ化物の含有量に関する種々の物性値を一覧として示す。

なお、表2において、 $C[CO_2, 75 \mu m]$ は、粒度が $75 \mu m$ 以上である金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値）であり、 $C[F, 75 \mu m]$ は、粒度が $75 \mu m$ 以上である金属フッ化物の総含有量（F換算値）であり、 $C[CO_2, 106 \mu m]$ は、粒度が $106 \mu m$ 以上である金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値）であり、 $C[F, 106 \mu m]$ は、粒度が $106 \mu m$ 以上である金属フッ化物の総含有量（F換算値）であり、 $C[CO_2, 150 \mu m]$ は、粒度が $150 \mu m$ 以上である金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値）であり、 $C[F, 150 \mu m]$ は、粒度が $150 \mu m$ 以上である金属フッ化物の総含有量（F換算値）である。

また、 $C[CO_2, total]$ は、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値）であり、 $C[F, total]$ は、被覆剤中に含まれ

る金属フッ化物の総含有量（F換算値）である。また、 $C[\text{coat}, \text{total}]$ は、被覆剤の全質量であり、 $C[\text{Si}, \text{total}]$ は、SiおよびSi化合物の総含有量（Si換算値）である。

[0091] ここで、例えば、表2中の(1)欄で示す $C[\text{CO}_2, 75\mu\text{m}] / C[\text{CO}_2, \text{total}]$ は、被覆剤中に含まれる金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, \text{total}}$ に対する、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ を示している。また、他の欄においても同様である。

[0092] また、表2中の(7)欄で示す「(5) + (6)」は、(5)欄で示す $C[\text{CO}_2, 75\mu\text{m}] / C[\text{coat}, \text{total}]$ と、(6)欄で示す $C[\text{F}, 75\mu\text{m}] / C[\text{coat}, \text{total}]$ との合計量、すなわち、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat}, \text{total}}$ に対する、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ と、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ の合計量を示している。同様に、表2中の(10)欄で示す「(8) + (9)」は、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat}, \text{total}}$ に対する、粒度が $106\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, 106\mu\text{m}}$ と、粒度が $106\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{\text{F}, 106\mu\text{m}}$ の合計量を示している。また同様に、表2中の(13)欄で示す「(11) + (12)」は、被覆剤の全質量 $C_{\text{coat}, \text{total}}$ に対する、粒度が $150\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{\text{CO}_2, 150\mu\text{m}}$ と、粒度が $150\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{\text{F}, 150\mu\text{m}}$ の合計量を示している。

[0093] 続いて、得られた被覆アーク溶接棒を用いて、以下の溶接条件によりアーク溶接を行い、溶接開始より10秒以降で任意に電源を切った。なお、表5に示すように、試験No. T9およびT10においては、後退角を $5 \sim 25^\circ$ の範囲で種々に変化させた試験を行った。また、試験No. T9およびT10以外の試験例は、後退角を 15° に固定して試験を行った。

[0094] <溶接条件>

電源極性：D C E P

溶接姿勢：下向ビードオンプレート

溶接の対象物：12 mm t × 70 mm t × 450 mm l の S M 4 9 0 鋼板

溶接電流：150 A（狙い）±10 A

アーク電圧：21 V（狙い）±2 V

- [0095] その後、溶接棒先端側において心線の周囲に残存している被覆剤（保護筒）の最先端部からホルダー側（後端側）の溶接棒後端部までの長さを測定すると共に、溶接棒先端側において心線の周囲に残存している被覆剤（保護筒）の最後端部からホルダー側の溶接棒後端部までの長さを測定した。

更に、保護筒を形成している被覆剤および心線端部に残留しているスラグを除去し、心線の先端部からホルダー側の溶接棒後端部までの長さを測定した。そして、これらの測定値を利用して、心線の先端部と、心線の周囲に残存している被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離 D_1 、心線の周囲に残存している被覆剤の最先端部と、心線の周囲に残存している被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離 D_2 を算出した（表5を参照）。

- [0096] 更に、上記の方法により得られた被覆アーク溶接棒を、長手方向に対する垂直断面が観察面となるように樹脂に埋め込み、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；SEM）で観察した。SEMによる観察は、倍率を50倍、加速電圧を15 kVとし、反射電子（Back Scattered Electron；BSE）像による観察とした。

そして、被覆剤断面をエネルギー分散型X線分光法（Energy Dispersive X-ray spectroscopy；EDX）を用いて元素分析をし、円相当径30 μ m以上となる粒子の面積率、すなわち、被覆剤全体の断面積を S_1 とし、円相当径が30 μ m以上である金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種の総面積を S_2 としたときの、 S_1 に対する S_2 の比率（ S_2/S_1 ）を算出した。

- [0097] SEMによるEDX分析は次のようにして行うことができる。例えば、日立ハイテクノロジーズ製 TM3030 Miniscopeを用い、被覆アーク溶接棒断面を分析する（倍率50倍、1.61mm×1.21mmの矩形の領域を4ヶ所）。視野の選定は、被覆剤断面が各視野内で70%以上となることが望ましい。そして、1つの視野に対し、画像解析ソフト Image J を用いて1024×768ピクセル（ピクセル数786432）を二値化することにより、面積706.8 μm^2 以上（円相当径30 μm 以上）となる粒子の面積率を算出することができる。なお、二値化時のしきい値は例えば60とする。
- [0098] 被覆アーク溶接棒における心線の直径dおよび S_2/S_1 の測定結果を、下記表3に示す。また、 D_2/D_1 、 D_1 および D_1/d の測定結果を、下記表5に示す。
- [0099] 更に、試験No. T1～T15（実施例）および試験No. T16～T19（比較例）の被覆アーク溶接棒について、上記 D_1 および D_2 の測定時の溶接条件と同様にして溶接し、以下の評価基準により、片溶け評価（片溶けの有無）、アーク偏向の抑制効果、および溶接作業性を評価した。
- [0100] [片溶け評価（片溶けの有無）]
- $D_2/D_1 \leq 0.40$ を満たす場合：無
- $D_2/D_1 > 0.40$ を満たす場合：有
- [0101] [アーク偏向の抑制効果]
- 目視で、アークの偏向の有無とビード外観を評価した。アークが偏向せず、ビード外観が良好と判断されるものを◎（優良）、アークがやや偏向しているが、ビード外観が良好と判断されるものを○（良好）、アークが偏向し、ビード外観不良と判断されるものを×（不良）とした。
- [0102] [溶接作業性（官能評価）]
- 目視で、溶接時に溶滴が周期的に移行しており、細かいスパッタのみが発生していると判断されるものを◎（優良）、溶接時に溶滴が周期的に移行しているが、目立って中粒のスパッタが発生していると判断されるものを○（

良好)、溶接時に溶滴が周期的に移行しているもので無く、大粒のスパッタが大量に発生していると判断されるものを×(不良)とした。

[0103]

[表1]

被覆剤 No.	被覆剤の全質量 C _{coat, total} に対する、被覆剤中の各成分の含有量 (質量%)																		
	金属炭酸塩				金属フッ化物		Si	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Na ₂ O+ K ₂ O+ Li ₂ O	C	Ni	Mo	Al	
	CaCO ₃	BaCO ₃	合計	CO ₂ 換算値 合計	CaF ₂	F換算値													
	C 1	53.5	0.0	53.5	23.5	17.1	8.3	6.60	2.44	9.3	5.87	0.22	0.79	0.00	2.41	0.06	0.00	0.000	0.124
C 2	43.2	9.2	52.4	21.1	16.7	8.1	5.08	1.98	7.2	7.35	0.08	5.74	0.26	2.78	0.05	0.00	0.000	0.095	
C 3	51.2	3.8	55.0	23.4	16.3	7.9	5.74	2.91	8.3	1.74	0.47	6.19	0.53	2.61	0.07	0.00	0.000	0.108	
C 4	47.0	0.0	47.0	20.7	6.7	3.3	4.51	4.68	7.0	14.13	2.53	8.07	0.00	2.79	0.05	0.00	0.000	0.083	
C 5	53.7	0.0	53.7	23.6	0.0	0.0	6.36	1.85	19.7	6.05	0.28	5.82	0.33	2.00	0.05	0.00	0.000	0.119	
C 6	32.1	0.0	32.1	14.1	12.2	5.9	3.68	3.06	27.8	6.43	0.28	5.46	1.13	2.62	0.04	1.21	0.557	0.148	
C 7	32.0	0.0	32.0	14.1	12.1	5.9	3.67	3.05	27.7	6.42	0.60	5.44	1.13	2.62	0.04	1.21	0.555	0.148	
C 8	32.1	0.0	32.1	14.1	12.2	5.9	3.68	3.06	27.8	6.37	0.28	5.46	1.13	2.69	0.04	1.21	0.557	0.148	
C 9	32.0	0.0	32.0	14.1	12.1	5.9	3.67	3.05	27.7	6.36	0.60	5.44	1.13	2.69	0.04	1.21	0.555	0.148	
C 10	32.0	0.0	32.0	14.1	12.1	5.9	3.67	3.05	27.7	6.36	0.60	5.44	1.13	2.69	0.04	1.21	0.555	0.148	
C 11	32.6	0.0	32.6	14.4	12.2	5.9	3.74	3.11	28.3	6.61	0.30	5.55	0.39	2.62	0.04	1.23	0.567	0.233	
C 12	27.3	0.0	27.3	12.0	1.5	0.7	2.73	7.00	4.8	5.43	1.32	41.16	0.22	2.84	0.06	0.00	0.000	0.049	
C 13	28.1	1.9	30.0	12.8	15.6	7.6	3.38	2.76	28.6	6.68	0.80	6.66	0.21	3.05	0.07	0.00	0.000	0.062	
C 14	24.0	0.0	24.0	10.6	19.3	9.4	3.28	2.47	33.0	5.55	0.30	6.06	0.47	2.86	0.06	0.00	0.000	0.157	
C 15	26.7	0.0	26.7	11.7	17.8	8.7	3.82	3.18	28.8	6.19	0.25	5.67	0.39	2.62	0.04	1.26	0.578	0.154	

表 1

[0104] [表2]

試料 No.	被覆剤中に含まれる、金属炭酸塩の含有量または金属フッ化物の含有量に関する種々の物性値 (質量%)														
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
	$C[CO_2, 75\mu m]/$ $C[CO_2, total]$	$C[F, 75\mu m]/$ $C[F, total]$	$C[CO_2, total]/$ $C[coat, total]$	$C[F, total]/$ $C[coat, total]$	$C[CO_2, 75\mu m]/$ $C[coat, total]$	$C[F, 75\mu m]/$ $C[coat, total]$	(5)+(6)	$C[CO_2, 106\mu m]/$ $C[coat, total]$	$C[F, 106\mu m]/$ $C[coat, total]$	(8)+(9)	$C[CO_2, 150\mu m]/$ $C[coat, total]$	$C[F, 150\mu m]/$ $C[coat, total]$	(11)+(12)	$C[F, total]/$ $\{C[CO_2, total]+C[F, total]\}$	$C[S, total]/$ $C[coat, total]$
C 1	33.8	33.0	23.5	8.3	7.9	2.8	10.7	5.8	2.3	8.1	3.1	1.6	4.7	0.26	9.34
C 2	34.8	28.3	21.1	8.1	7.3	2.3	9.6	5.3	1.8	7.1	2.9	1.2	4.1	0.28	8.52
C 3	42.9	21.4	23.4	7.9	10.0	1.7	11.7	7.3	1.2	8.5	3.9	0.7	4.6	0.25	6.55
C 4	32.5	23.1	20.7	3.3	6.7	0.8	7.5	4.9	0.5	5.4	2.6	0.3	2.9	0.14	11.11
C 5	40.5	0.0	23.6	0.0	9.6	0.0	9.6	6.9	0.0	6.9	3.8	0.0	3.8	0.00	9.18
C 6	32.4	43.2	14.1	5.9	4.6	2.6	7.2	3.3	2.3	5.6	1.8	1.7	3.5	0.30	6.69
C 7	32.4	43.2	14.1	5.9	4.6	2.5	7.1	3.3	2.3	5.6	1.8	1.7	3.5	0.30	6.67
C 8	32.4	43.2	14.1	5.9	4.6	2.6	7.2	3.3	2.3	5.6	1.8	1.7	3.5	0.30	6.66
C 9	32.4	43.2	14.1	5.9	4.6	2.5	7.1	3.3	2.3	5.6	1.8	1.7	3.5	0.30	6.64
C 10	32.5	43.3	14.1	5.9	4.6	2.6	7.2	3.3	2.3	5.6	1.8	1.7	3.5	0.30	6.64
C 11	40.5	52.9	14.4	5.9	5.8	3.1	8.9	4.2	3.0	7.2	2.3	2.3	4.6	0.29	6.83
C 12	29.0	22.9	12.0	0.7	3.5	0.2	3.7	2.5	0.1	2.6	1.4	0.1	1.5	0.06	5.26
C 13	27.0	23.1	12.8	7.6	3.5	1.8	5.3	2.5	1.2	3.7	1.4	0.7	2.1	0.37	6.50
C 14	35.4	23.1	10.6	9.4	3.7	2.2	5.9	2.8	1.5	4.3	1.5	0.9	2.4	0.47	5.88
C 15	16.2	23.0	11.7	8.7	1.9	2.0	3.9	1.4	1.4	2.8	0.7	0.8	1.5	0.42	6.71

表 2

[0105] [表3]

表 3

試験 No.	被覆アーケ溶接棒				備考
	被覆剤	被覆率	被覆アーケ 溶接棒における 心線の直径 d	S_2/S_1	
	被覆剤No.	質量%	mm	—	
T1	C 1	30.0	4.0	0.087	実施例
T2	C 2	30.0	4.0	0.077	実施例
T3	C 3	27.0	4.0	0.078	実施例
T4	C 4	26.9	4.0	0.068	実施例
T5	C 5	27.6	4.0	0.077	実施例
T6	C 6	35.0	4.0	0.064	実施例
T7	C 7	35.0	4.0	0.081	実施例
T8	C 8	35.0	4.0	0.079	実施例
T9	C 9	35.0	4.0	0.087	実施例
T10	C 1 0	35.0	4.0	0.079	実施例
T11	C 1 1	35.0	4.0	0.110	実施例
T12	C 1	31.0	3.2	0.086	実施例
T13	C 2	30.0	3.2	0.070	実施例
T14	C 4	26.9	3.2	0.068	実施例
T15	C 3	28.0	5.0	0.078	実施例
T16	C 1 2	35.6	4.0	0.059	比較例
T17	C 1 3	34.0	4.0	0.059	比較例
T18	C 1 4	35.0	4.0	0.078	比較例
T19	C 1 5	35.0	4.0	0.055	比較例

[0106]

[表4]

試験 No.		被覆アーケ溶接棒の全質量 C _{electrode, total} に対する、被覆アーケ溶接棒中の各成分の含有量 (質量%)																		
		金属炭酸塩				金属フッ化物		Si	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Na ₂ O+ K ₂ O+ Li ₂ O	C	Ni	Mo	Al	備考
		CaCO ₃	BaCO ₃	合計	CO ₂ 換算値 合計	CaF ₂	F換算値													
T1	16.0	0.0	16.0	7.1	5.1	2.5	2.0	1.0	72.5	1.76	0.07	0.24	0.00	0.72	0.06	0.00	0.04	0.04	0.04	実施例
T2	13.0	2.8	15.7	6.3	5.0	2.4	1.5	0.9	71.8	2.20	0.02	1.72	0.08	0.83	0.06	0.00	0.03	0.03	0.03	実施例
T3	13.8	1.0	14.8	6.3	4.4	2.1	1.6	1.1	74.9	0.47	0.13	1.67	0.14	0.70	0.06	0.00	0.03	0.03	0.03	実施例
T4	12.6	0.0	12.6	5.6	1.8	0.9	1.2	1.6	74.7	3.80	0.69	2.17	0.00	0.75	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	実施例
T5	14.8	0.0	14.8	6.5	0.0	0.0	1.8	0.8	77.5	1.67	0.08	1.61	0.09	0.55	0.06	0.00	0.03	0.03	0.03	実施例
T6	11.2	0.0	11.2	4.9	4.3	2.1	1.3	1.3	74.4	2.25	0.10	1.91	0.40	0.92	0.05	0.42	0.19	0.05	0.05	実施例
T7	11.2	0.0	11.2	4.9	4.2	2.1	1.3	1.3	74.4	2.25	0.21	1.90	0.40	0.92	0.05	0.42	0.19	0.05	0.05	実施例
T8	11.2	0.0	11.2	4.9	4.3	2.1	1.3	1.3	74.4	2.23	0.10	1.91	0.40	0.94	0.05	0.42	0.19	0.05	0.05	実施例
T9	11.2	0.0	11.2	4.9	4.2	2.1	1.3	1.3	74.4	2.23	0.21	1.90	0.40	0.94	0.05	0.42	0.19	0.05	0.05	実施例
T10	11.2	0.0	11.2	4.9	4.2	2.1	1.3	1.3	74.4	2.23	0.21	1.90	0.40	0.94	0.05	0.42	0.19	0.05	0.05	実施例
T11	11.4	0.0	11.4	5.0	4.3	2.1	1.3	1.4	74.6	2.31	0.11	1.94	0.13	0.92	0.05	0.43	0.20	0.08	0.08	実施例
T12	16.4	0.0	16.4	7.2	5.3	2.6	2.0	1.0	71.5	1.99	0.11	0.28	0.00	0.78	0.06	0.00	0.04	0.00	0.04	実施例
T13	12.8	2.7	15.6	6.3	5.1	2.5	1.5	0.9	71.8	1.95	0.05	1.72	0.36	0.85	0.06	0.00	0.03	0.03	0.03	実施例
T14	12.7	0.0	12.7	5.6	1.8	0.9	1.2	1.6	74.7	3.82	0.69	2.17	0.00	0.69	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	実施例
T15	14.3	1.1	15.4	6.5	4.6	2.2	1.6	1.1	74.0	0.49	0.13	1.73	0.15	0.73	0.06	0.00	0.03	0.03	0.03	実施例
T16	9.7	0.0	9.7	4.3	0.5	0.3	1.0	2.8	65.8	1.93	0.47	14.65	0.08	1.01	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	比較例
T17	9.6	0.6	10.2	4.3	5.3	2.6	1.2	1.2	75.4	2.27	0.27	2.26	0.07	1.04	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	比較例
T18	8.4	0.0	8.4	3.7	6.7	3.3	1.2	1.1	76.3	1.94	0.11	2.12	0.16	1.00	0.06	0.00	0.05	0.05	0.05	比較例
T19	9.3	0.0	9.3	4.1	6.2	3.0	1.3	1.4	74.8	2.17	0.09	1.98	0.14	0.92	0.05	0.44	0.20	0.05	0.05	比較例

[0107] [表5]

表 5

試験 No.	溶接条件	評価						備考
	溶接姿勢 と角度	片溶け評価				アーク偏向の 抑制効果	溶接作業性	
		D ₂ /D ₁	片溶け の有無	D ₁	D ₁ /d			
—	—	—	mm	—	—	—		
T1	後退角：15°	0.22	無	2.9	0.7	◎	○	実施例
T2	後退角：15°	0.36	無	1.6	0.4	○	○	実施例
T3	後退角：15°	0.32	無	2.6	0.7	○	○	実施例
T4	後退角：15°	0.25	無	2.1	0.5	◎	○	実施例
T5	後退角：15°	0.35	無	2.8	0.7	○	○	実施例
T6	後退角：15°	0.18	無	2.8	0.7	◎	○	実施例
T7	後退角：15°	0.12	無	1.5	0.4	◎	◎	実施例
T8	後退角：15°	0.21	無	1.3	0.3	◎	◎	実施例
T9	後退角：5°	0.10	無	2.0	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：10°	0.26	無	1.9	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：15°	0.23	無	2.0	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：20°	0.24	無	1.9	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：25°	0.33	無	2.0	0.5	◎	◎	実施例
T10	後退角：5°	0.23	無	1.6	0.4	◎	◎	実施例
	後退角：10°	0.15	無	2.0	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：15°	0.24	無	1.9	0.5	◎	◎	実施例
	後退角：20°	0.29	無	1.7	0.4	◎	◎	実施例
	後退角：25°	0.39	無	1.9	0.5	◎	◎	実施例
T11	後退角：15°	0.28	無	1.6	0.4	◎	○	実施例
T12	後退角：15°	0.34	無	3.6	1.1	○	○	実施例
T13	後退角：15°	0.28	無	3.6	1.1	◎	○	実施例
T14	後退角：15°	0.11	無	2.1	0.7	◎	○	実施例
T15	後退角：15°	0.36	無	4.1	0.8	○	○	実施例
T16	後退角：15°	0.42	有	1.2	0.3	×	×	比較例
T17	後退角：15°	0.42	有	2.4	0.6	×	×	比較例
T18	後退角：15°	0.60	有	1.8	0.5	×	×	比較例
T19	後退角：15°	0.62	有	1.4	0.4	×	×	比較例

[0108] 表3～表5における試験No. T1～T15（実施例）は、本発明の要件（すなわち、被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{F, 75\mu m}$ の合計が6.0質量%以上）を満足する（表2中における、（7）欄を参照）、表1または表2の被覆剤No. C1～C11を用いた例である。これら試験No. T1～T15は、表5に示すように、 $D_2/D_1 \leq 0.40$ を満たしており（片溶け無し

）、かつ、アーク偏向の抑制効果および溶接作業性のいずれにおいても優良または良好な結果が得られた。

[0109] これに対し、表3～表5における試験No. T16～T19（比較例）は、本発明の要件を満足しない（表2中における、（7）欄を参照）、表1または表2の被覆剤No. C12～C15を用いた例である。これら試験No. T16～T19は、表5に示すように、 $D_2/D_1 \leq 0.40$ を満たさず（片溶け有り）、かつ、アーク偏向の抑制効果および溶接作業性のいずれにおいても不良な結果が得られた。

[0110] 以上詳述したように、本発明の被覆アーク溶接棒によれば、片溶けを防止し、アークの偏向を抑制することで、溶滴をスムーズに移行させることができるとともに、アーク安定性が良好であり、これにより、優れた溶接作業性を得ることができると分かる。

[0111] 以上、図面を参照しながら各種の実施の形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0112] なお、本出願は、2018年9月11日出願の日本特許出願（特願2018-170066）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

符号の説明

- [0113] 1、11 被覆アーク溶接棒
2 心線
2a 先端部
3、13 被覆剤
3a 先端
4、14 アーク

5 母材

6、16 保護筒

13a 最先端部

13b 最後端部

d 被覆アーク溶接棒における心線の直径

D 保護筒の先端と心線の先端部との溶接棒長手方向の距離

D₁ 心線の先端部と、心線の周囲に残存している被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離

D₂ 心線の周囲に残存している被覆剤の最先端部と、心線の周囲に残存している被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離

請求の範囲

- [請求項1] 心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒であって、
- 前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、
- 粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ と、粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属フッ化物の含有量(F 換算値) $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{\text{coat, total}}$ に対し、 6.0 質量%以上(ただし、前記 $C_{\text{CO}_2, 75\mu\text{m}}$ および前記 $C_{\text{F}, 75\mu\text{m}}$ のうち少なくとも一方が、 0 質量%の場合を含む)であり、
- 前記被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、
- 前記心線の先端部と、該心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離を D_1 とし、
- 前記心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部と、該心線の周囲に残存している該被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離を D_2 としたとき、
- 前記 D_1 に対する前記 D_2 の比率(D_2/D_1)が、 0.40 以下(0 の場合を含む)を満たすことを特徴とする被覆アーク溶接棒。
- [請求項2] 前記 D_1 が 2.2mm 以下を満たす、請求項1に記載の被覆アーク溶接棒。
- [請求項3] 前記被覆アーク溶接棒における心線の直径 d に対する前記 D_1 の比率(D_1/d)が 1.3 以下を満たす請求項1または2に記載の被覆アーク溶接棒。
- [請求項4] 心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒であって、
- 前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、
- 粒度が $75\mu\text{m}$ 以上である金属炭酸塩の含有量(CO_2 換算値) C

$C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、 6.0 質量%以上（ただし、前記 $C_{CO_2, 75\mu m}$ および前記 $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、 0 質量%の場合を含む）であることを特徴とする被覆アーク溶接棒。

[請求項5] 溶接棒長手方向に垂直な断面において、
前記被覆剤全体の断面積を S_1 とし、
円相当径が $30\mu m$ 以上である前記金属炭酸塩および前記金属フッ化物のうち少なくとも1種の総面積を S_2 としたとき、
 S_1 に対する S_2 の比率（ S_2/S_1 ）が、 0.06 以上 0.15 以下を満たす請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項6] 前記被覆剤は、前記金属炭酸塩として、 $CaCO_3$ 、 $BaCO_3$ 、 $SrCO_3$ 、 $MgCO_3$ および $MnCO_3$ から選択される少なくとも1種を含有し、
前記被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、前記被覆剤中の金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, total}$ が、 6.0 質量%以上 26.0 質量%以下を満たす、請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項7] 前記被覆剤は、前記金属フッ化物として、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 および MgF_2 から選択される少なくとも1種を含有し、
前記被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、前記被覆剤中の金属フッ化物の総含有量（F換算値） $C_{F, total}$ は、 15.0 質量%以下（ 0 質量%を含む）である、請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項8] 前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物の両方を含有し、
前記被覆剤中の、金属炭酸塩の総含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, total}$ と金属フッ化物の総含有量（F換算値） $C_{F, total}$ の合計に対する、金属フッ化物の総含有量（F換算値） $C_{F, total}$ の比率 $\{C_{F, t}$

$_{total} / (C_{CO_2, total} + C_{F, total}) \}$ が、0.10以上0.30以下を満たす、請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項9] 前記被覆剤は、更に、SiおよびSi化合物のうち少なくとも1種を含有し、

前記被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対する、前記SiおよびSi化合物の総含有量（Si換算値） $C_{Si, total}$ は、6.0質量%以上9.0質量%以下である、請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項10] 前記被覆アーク溶接棒を、母材に対し垂直または後退角を 0° 超、 30° 以下とした溶接姿勢によるアーク溶接において用いられることを特徴とする請求項1または4に記載の被覆アーク溶接棒。

[請求項11] 心線と、前記心線を被覆する被覆剤と、を有する被覆アーク溶接棒を用いた被覆アーク溶接方法であって、

前記被覆剤は、金属炭酸塩および金属フッ化物のうち少なくとも1種を含有し、

粒度が $75\mu m$ 以上である金属炭酸塩の含有量（ CO_2 換算値） $C_{CO_2, 75\mu m}$ と、粒度が $75\mu m$ 以上である金属フッ化物の含有量（F換算値） $C_{F, 75\mu m}$ の合計が、該被覆剤の全質量 $C_{coat, total}$ に対し、6.0質量%以上（ただし、前記 $C_{CO_2, 75\mu m}$ および前記 $C_{F, 75\mu m}$ のうち少なくとも一方が、0質量%の場合を含む）であることを特徴とする被覆アーク溶接方法。

[請求項12] 前記被覆アーク溶接棒の使用後における溶接棒先端側において、

前記心線の先端部と、該心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部との、溶接棒長手方向における距離を D_1 とし、

前記心線の周囲に残存している前記被覆剤の最先端部と、該心線の周囲に残存している該被覆剤の最後端部との、溶接棒長手方向における距離を D_2 としたとき、

前記 D_1 に対する前記 D_2 の比率（ D_2 / D_1 ）が0.40以下（0

の場合を含む) となるようにアーク溶接する、請求項 11 に記載の被覆アーク溶接方法。

[請求項13] 前記 D_1 が 2.2 mm 以下を満たすようにアーク溶接する、請求項 12 に記載の被覆アーク溶接方法。

[請求項14] 前記被覆アーク溶接棒における心線の直径 d に対する前記 D_1 の比率 (D_1/d) が 1.3 以下を満たすようにアーク溶接する、請求項 12 または 13 に記載の被覆アーク溶接方法。

[請求項15] 前記被覆アーク溶接棒を、母材に対し垂直または後退角を 0° 超、 30° 以下とした溶接姿勢でアーク溶接する、請求項 11 または 12 に記載の被覆アーク溶接方法。