(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7492185号
(P7492185)

(45)発行日　令和6年5月29日(2024.5.29)

(24)登録日　令和6年5月21日(2024.5.21)

(51)国際特許分類

Ｂ２３Ｋ　35/30　(2006.01)	Ｂ２３Ｋ	35/30	３３０Ｃ
Ｂ２３Ｋ　35/365(2006.01)	Ｂ２３Ｋ	35/365	Ｙ
	Ｂ２３Ｋ	35/365	Ｄ

ＦＩ

請求項の数　9　（全39頁）

(21)出願番号　特願2023-570048(P2023-570048)
(86)(22)出願日　令和4年9月30日(2022.9.30)
(86)国際出願番号　PCT/JP2022/036864
審査請求日　令和5年11月10日(2023.11.10)
早期審査対象出願

(73)特許権者　000006655
日本製鉄株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号
(74)代理人　110001519
弁理士法人太陽国際特許事務所
(72)発明者　松尾 孟
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号
日本製鉄株式会社内
(72)発明者　加茂 孝浩
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号
日本製鉄株式会社内
審査官　川村 裕二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　被覆アーク溶接棒及び溶接継手の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

鋼製の芯線と前記芯線を被覆するフラックスとを備える被覆アーク溶接棒であって、前記芯線の全質量に対する質量％で、前記芯線の化学成分が、

Ｃ　：０～０．６５０％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：２．１～３０．０％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：３．０～３０．０％、
Ｃｒ：０～１０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．００％、
Ｖ　：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ａｌ：０～０．１０％、
Ｔｉ：０～０．１０％、

Ｂ：０～０．１０００％、
Ｎ　：０～０．５０００％、
Ｏ　：０～０～０．００５０％、並びに
残部：Ｆｅ及び不純物であり、
かつ前記Ｍｎ含有量及び前記Ｎｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が５．０％以上であり、
前記Ｍｎ含有量、前記Ｎｉ含有量及び前記Ｃｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）が１５．０％以上であり、
前記芯線における磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合が７０％以上である被覆アーク溶接棒。

【請求項２】
前記Ｍｎ含有量と前記Ｎｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、０．１０以上である請求項１に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項３】
前記質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、１．００以上である請求項２に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項４】
前記Ｔｉの含有量が、Ｔｉ：０．００３～０．１０％である請求項１に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項５】
前記フラックスの全質量に対する質量％で、前記フラックスの化学成分が、
Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計：０～５．００％、
Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計：０～５．００％、
Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計：０～５．００％、
Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計：０～２５．００％、
Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計：０～５．００％、
Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計：０～５．００％、
CaF_2：０～３０．００％、
$CaCO_3$：０～６０．００％、
$BaCO_3$：０～１５．００％、
$MgCO_3$：０～１５．００％、及び
Li_2CO_3：０～１５．００％、を含み、
前記フラックスの全質量に対する質量％で、前記フラックスの化学成分における金属成分が、
Ｃ　：０．０２０～５．０００％、
Ｓｉ：０～５．００％、
Ｍｎ：０～３０．００％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～２０．０％、
Ｎｉ：０～２０．０％、
Ｃｒ：０～２０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～５．００％、
Ｖ　：０～５．０％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ｗ　：０～２０．０％、
Ｍｇ：０～５．００％、

Ａｌ：０～５．０％、
Ｃａ：０～５．００％、
Ｔｉ：０～５．０００％、
Ｂ　：０～５．００００％、
ＲＥＭ：０～５．００％、
Ｂｉ：０～５．０００％、
Ｎ　：０～５．００００％、並びに
残部：Ｆｅ及び不純物であり、かつ
前記$CaCO_3$、前記$BaCO_3$、前記$MgCO_3$、及び前記Li_2CO_3の含有量の合計が５．００％以上である請求項１に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項６】
前記フラックスにおける前記Ｍｎ含有量及び前記Ｎｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上である請求項５に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項７】
前記Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計と、前記Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計と、前記Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計と、前記Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計と、前記Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計と、前記Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計と、前記Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計と、前記Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計と、前記CaF_2含有量と、前記$CaCO_3$含有量と、前記$BaCO_3$含有量と、前記$MgCO_3$含有量と、前記Li_2CO_3含有量と、の和Ｘが９４．９８％以下である請求項５に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項８】
前記フラックスの平均厚さが５．０ｍｍ以下である請求項１～請求項７のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒。

【請求項９】
請求項１～請求項７のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒を用いて、鋼材を溶接する工程を備える溶接継手の製造方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、被覆アーク溶接棒及び溶接継手の製造方法に関する。

【背景技術】
【０００２】
近年、地球温暖化の問題による二酸化炭素排出量規制強化により、石油及び石炭などに比べて二酸化炭素の排出がない水素燃料、並びに二酸化炭素の排出が少ない天然ガスなどの需要が高まっている。それに伴い、船舶や地上などで使用する液体水素タンク、液体炭酸ガスタンクおよびＬＮＧタンク等の建造の需要も世界的に高まっている。液体水素タンク、液体炭酸ガスタンクおよびＬＮＧタンクなどに使用される鋼材には、－１９６℃の極低温度での靭性確保の要求から、６～９％Ｎｉを含むＮｉ系低温用鋼が使用されている。
そして、これらＮｉ系低温用鋼の溶接には、優れた低温靭性の溶接金属が得られるオーステナイト系の被覆アーク溶接棒が用いられている。この被覆アーク溶接棒は、主に、Ｎｉ含有量が７０％で設計されている。

【０００３】
例えば、Ｎｉ含有量７０％の溶接材料として、特許文献１には、「Ｎｉ含有量が３５～７０％であり、フラックス中にワイヤ全質量に対して、TiO_2、SiO_2及びZrO_2を総量で４．０質量％以上含み、さらに、Ｍｎ酸化物をMnO_2換算で０．６～１．２質量％含み、かつ、TiO_2、SiO_2、ZrO_2及びMnO_2（換算量）の含有量を質量％で、それぞれ、［TiO_2］、［SiO_2］、［ZrO_2］及び［MnO_2］としたとき、［TiO_2］／［ZrO_2］が２．３～３．３、［SiO_2］／［ZrO_2］が０．９～１．５、及び、（［TiO_2］＋［SiO_2］＋［ZrO_2］）／［MnO_2］が５～１３であ

る、Ｎｉ基合金を芯線とするフラックス入りワイヤ」が開示されている。
【０００４】
［特許文献１］特開２００８－２４６５０７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかし、溶接金属の低温靭性を確保するための、Ｎｉ含有量が７０％で設計された溶接材料は、非常に高価であり、安価なものが求められている。
高価なＮｉは、オーステナイト安定化元素として知られているが、低廉なＭｎも同様の効果がある。そのため、Ｎｉ含有量を低減し、Ｍｎ含有量を高めれば、安価で、低温靭性に優れた溶接金属が得られる。ただし、Ｍｎを高めただけではヒュームが多量に発生する。ヒュームが多くなると溶接金属やアーク状態の視認性が悪化し、溶接欠陥を発生させる要因となる。
【０００６】
そこで、本発明の課題は、安価で、低温靭性に優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量が低減できる被覆アーク溶接棒、及び、当該被覆アーク溶接棒を用いた溶接継手の製造方法を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
課題を解決するための手段は、次の態様を含む。
＜１＞　鋼製の芯線と前記芯線を被覆するフラックスとを備える被覆アーク溶接棒であって、前記芯線の全質量に対する質量％で、前記芯線の化学成分が、
Ｃ　：０～０．６５０％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：２．１～３０．０％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：１．０～３０．０％、
Ｃｒ：０～１０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．００％、
Ｖ　：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ａｌ：０～０．１０％、
Ｔｉ：０～０．１０％、
Ｂ：０～０．１０００％、
Ｎ　：０～０．５０００％、
Ｏ　：０～０．００５０％、並びに
残部：Ｆｅ及び不純物であり、
かつ前記Ｍｎ含有量及び前記Ｎｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が５．０％以上であり、
前記Ｍｎ含有量、前記Ｎｉ含有量及び前記Ｃｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）が１５．０％以上であり、
前記芯線における磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合が７０％以上である被覆アーク溶接棒。
＜２＞　前記Ｍｎ含有量と前記Ｎｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、０．１０以上である＜１＞に記載の被覆アーク溶接棒。
＜３＞　前記質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、１．００以上である＜２＞に記載の被覆アーク溶

接棒。
＜４＞　前記Ｔｉの含有量が、Ｔｉ：０．００３～０．１０％である＜１＞～＜３＞のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒。
＜５＞　前記フラックスの全質量に対する質量％で、前記フラックスの化学成分が、
　Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
　Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
　Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計：０～５．００％、
　Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計：０～５．００％、
　Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計：０～５．００％、
　Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計：０～２５．００％、
　Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計：０～５．００％、
　Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計：０～５．００％、
　CaF_2：０～３０．００％、
　$CaCO_3$：０～６０．００％、
　$BaCO_3$：０～１５．００％、
　$MgCO_3$：０～１５．００％、及び
　Li_2CO_3：０～１５．００％、を含み、
　前記フラックスの全質量に対する質量％で、前記フラックスの化学成分における金属成分が、
　Ｃ　：０．０２０～５．０００％、
　Ｓｉ：０～５．００％、
　Ｍｎ：０～３０．００％、
　Ｐ　：０～０．０５０％、
　Ｓ　：０～０．０５０％、
　Ｃｕ：０～２０．０％、
　Ｎｉ：０～２０．０％、
　Ｃｒ：０～２０．０％、
　Ｍｏ：０～１０．０％、
　Ｎｂ：０～５．００％、
　Ｖ　：０～５．０％、
　Ｃｏ：０～１．００％、
　Ｐｂ：０～１．００％、
　Ｓｎ：０～１．００％、
　Ｗ　：０～２０．０％、
　Ｍｇ：０～５．００％、
　Ａｌ：０～５．０％、
　Ｃａ：０～５．００％、
　Ｔｉ：０～５．０００％、
　Ｂ　：０～５．００００％、
　ＲＥＭ：０～５．００％、
　Ｂｉ：０～５．０００％、
　Ｎ　：０～５．００００％、並びに
　残部：Ｆｅ及び不純物であり、かつ
　前記$CaCO_3$、前記$BaCO_3$、前記$MgCO_3$、及び前記Li_2CO_3の含有量の合計が５．００％以上である＜１＞～＜４＞のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒。
＜６＞　前記フラックスにおける前記Ｍｎ含有量及び前記Ｎｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上である＜５＞に記載の被覆アーク溶接棒。
＜７＞　前記Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計と、前記Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計と、前記Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計と、前記Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計と、前記Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計と、前記Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計と

、前記Ｎａ酸化物のＮａ$_2$Ｏ換算値の合計と、前記Ｋ酸化物のＫ$_2$Ｏ換算値の合計と、前記ＣａＦ$_2$含有量と、前記ＣａＣＯ$_3$含有量と、前記ＢａＣＯ$_3$含有量と、前記ＭｇＣＯ$_3$含有量と、前記Ｌｉ$_2$ＣＯ$_3$含有量と、の和Ｘが９４．９８％以下である＜５＞又は＜６＞に記載の被覆アーク溶接棒。
＜８＞　前記フラックスの平均厚さが５．０ｍｍ以下である＜１＞～＜７＞のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒。
＜９＞　＜１＞～＜８＞のいずれか１項に記載の被覆アーク溶接棒を用いて、鋼材を溶接する工程を備える溶接継手の製造方法。
【発明の効果】
【０００８】
　本開示によれば、安価で、低温靭性に優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量が低減できる被覆アーク溶接棒、及び、当該被覆アーク溶接棒を用いた溶接継手の製造方法が提供できる。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
　本開示の一例である実施形態について説明する。
　なお、本明細書中において、「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値に「超」及び「未満」が付されていない場合は、これらの数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。また、「～」の前後に記載される数値に「超」又は「未満」が付されている場合の数値範囲は、これらの数値を下限値又は上限値として含まない範囲を意味する。
　本明細書中に段階的に記載されている数値範囲において、ある段階的な数値範囲の上限値は、他の段階的な記載の数値範囲の上限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。また、ある段階的な数値範囲の下限値は、他の段階的な記載の数値範囲の下限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。
　また、含有量について、「％」は「質量％」を意味する。
　含有量（％）として「０～」は、その成分は任意成分であり、含有しなくてもよいことを意味する。
【００１０】
＜被覆アーク溶接棒＞
　本開示に係る被覆アーク溶接棒（以下、単に「溶接棒」と称する場合がある。）は、鋼製の芯線と、芯線を被覆するフラックスとを備える。本開示に係る被覆アーク溶接棒は、芯線の化学成分が所定の組成である。
【００１１】
　本開示に係る被覆アーク溶接棒は、上記構成により、安価で、低温靭性に優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量が低減できる溶接棒となる。
　そして、本開示に係る被覆アーク溶接棒は、次の知見により見出された。
【００１２】
　発明者らは、Ｎｉ含有量を低減し、Ｍｎ含有量を高めても、溶接金属の低温靭性が向上し、かつヒュームの発生量が低減できる溶接棒を得る技術について検討した。その結果、次の知見を得た。
　ヒュームは、溶融プールから発生した金属蒸気がアーク力によって空気中に放出され、これが固化した物である。このアーク力を制御すれば、ヒュームの発生量を低減できる。アーク力は溶接条件だけでなく、芯線の成分によって変わる。具体的には、芯線に含まれる、オーステナイト安定化元素として機能するＮｉおよびＭｎの含有量を制御することで、溶接棒全体でのＮｉ含有量を低減し、Ｍｎ含有量を高めても、アーク力が緩和され、低温靭性に優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量も低減できる。
　以上の知見から、本開示に係る被覆アーク溶接棒は、安価で、低温靭性に優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量が低減できる溶接棒となることが見出された。

【００１３】
加えて、フラックス中の、金属炭酸塩、酸化物、並びにＭｎ及びＮｉについても、発明者らが検討した結果、それらの量を制御することで、さらに、低温靭性が向上することを知見した。
以上の知見から、本開示に係る被覆アーク溶接棒は、酸化物、並びにＭｎ及びＮｉを所定量で含むことが好ましく、これによって安価で、低温靭性により優れた溶接金属が得られると共に、ヒュームの発生量が低減できる溶接棒となることが見出された。
【００１４】
以下、本開示に係る被覆アーク溶接棒を構成する要件（任意要件も含む要件）の限定理由について具体的に説明する。
【００１５】
（芯線の化学成分）
以下、芯線の化学成分について詳細に説明する。
なお、芯線の化学成分の説明において、「％」は、特に説明がない限り、「芯線の化学成分の全質量に対する質量％」を意味する。
【００１６】
芯線の化学成分は、
Ｃ　：０～０．６５０％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：２．１～３０．０％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：１．０～３０．０％、
Ｃｒ：０～１０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．００％、
Ｖ　：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ａｌ：０～０．１０％、
Ｔｉ：０～０．１０％、
Ｂ：０～０．１０００％、
Ｎ　：０～０．５０００％、
Ｏ　：０～０．００５０％、並びに
残部：Ｆｅ及び不純物であり、
かつＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が５．０％以上であり、
Ｍｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）が１５．０％以上であり、
前記芯線における磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合が７０％以上である。
【００１７】
（Ｃ　：０～０．６５０％）
Ｃは、スパッタを発生させる元素である。スパッタ低減には、芯線のＣ含有量は低ければ低いほど有利である。また、Ｃは、侵入型固溶強化元素でもある。芯線のＣ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、スパッタも増大する。
よって、芯線のＣ含有量は、０～０．６５０％とする。
ただし、芯線のＣ含有量を０％にするには脱Ｃコストが上がる。また、溶接棒のＣ含有量が不足し、溶接金属の強度が不足する懸念がある。そのため、芯線のＣ含有量が低いと、フラックスのＣ含有量を増やさなければならない。よって、芯線のＣ含有量の下限は、

０．００３％、０．００５％、又は０．００８％としてもよい。
芯線のＣ含有量の上限は、好ましくは、０．６００％、０．５００％、０．４００％、０．３００％、０．２００％、０．２００％未満、０．１９０％、０．１８０％、０．１５０％、又は０．１２０％である。
【００１８】
（Ｓｉ：０．０３～０．５０％）
Ｓｉは、脱酸元素である。芯線のＳｉ含有量が低すぎると、芯線のＰ含有量が増加する。
一方、Ｓｉは、オーステナイト相に対する固溶度が低く、Ｓｉを多量に含有するほど、高温で金属間化合物、δフェライト等の脆化相が生成して高温延性が劣化する。
よって、芯線のＳｉ含有量は、０．０３～０．５０％とする。
芯線のＳｉ含有量の下限は、好ましくは、０．０４％、０．０５％、又は０．０８％である。
芯線のＳｉ含有量の上限は、好ましくは、０．５０％未満、０．４８％、０．４５％、０．４０％、０．３５％、０．３０％、又は０．２０％である。
【００１９】
（Ｍｎ：２．１～３０．０％）
Ｍｎは、ヒュームの発生量増大の原因となる元素である。ヒュームの発生量の低減には、芯線のＭｎ含有量は、低ければ低いほど有利である。また、Ｍｎを過剰に添加すると積層欠陥エネルギーが低下し、靭性が劣化する。
一方で、Ｍｎは、オーステナイト安定化元素である。芯線のＭｎ含有量が低すぎると、溶接棒全体のＭｎ含有量が不足し、溶接金属のオーステナイト化が進行し難くなり、低温靭性が劣化する。また、溶接金属の低温靭性を確保するために、フラックスのＭｎ含有量を過度に増やす必要が生じる。
よって、芯線のＭｎ含有量は、２．１～３０．０％とする。
芯線のＭｎ含有量の下限は、好ましくは、３．０％、５．０％、５．０％超、５．２％、６．０％超、６．２％、７．０％、７．０％超、７．２％、１０．０％超、又は１０．２％である。
芯線のＭｎ含有量の上限は、好ましくは、２５．０％、２０．０％、１９．０％、１８．０％、１５．０％、又は１２．０％である。
【００２０】
（Ｐ　：０～０．０５０％）
Ｐは、不純物元素であり、溶接金属の靭性を低下させるので、芯線のＰ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、芯線のＰ含有量の下限は、０％とする。ただし、脱Ｐコストの低減の観点から、芯線のＰ含有量は、０．００３％以上がよい。
一方、芯線のＰ含有量が０．０５０％以下であれば、Ｐの靭性への悪影響が許容できる範囲内となる。
よって、芯線のＰ含有量は、０～０．０５０％とする。
溶接金属の靭性の低下を効果的に抑制するために、芯線のＰ含有量は、０．０４０％以下、０．０３０％以下、０．０２０％以下、０．０１５％以下、又は０．０１０％以下が好ましい。
【００２１】
（Ｓ　：０～０．０５０％）
Ｓは、不純物元素であり、溶接金属の靭性を低下させるので、芯線のＳ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、芯線のＳ含有量の下限は、０％とする。ただし、脱Ｓコストの低減の観点から、芯線のＳ含有量は、０．００３％以上がよい。
一方、芯線のＳ含有量が０．０５０％以下であれば、Ｓの靭性への悪影響が許容できる範囲内となる。
よって、芯線のＳ含有量は、０～０．０５０％とする。
溶接金属の靭性の低下を効果的に抑制するために、芯線のＳ含有量は、０．０４０％以下、０．０３０％以下、０．０２０％以下、０．０１５％以下、又は０．０１０％以下が

好ましい。
【００２２】
（Ｃｕ：０～５．０％）
　Ｃｕは、析出強化元素であり、溶接金属の強度向上のため、芯線に含有させてもよい。一方、芯線のＣｕ含有量が過剰であると、上記の効果が飽和する。また、芯線のＣｕ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。
　よって、芯線のＣｕ含有量は、０～５．０％とする。
　芯線のＣｕ含有量の下限は、好ましくは、０．３％、０．５％、又は０．７％である。
　芯線のＣｕ含有量の上限は、好ましくは、４．５％、４．０％、又は３．５％である。
【００２３】
（Ｎｉ：１．０～３０．０％）
　Ｎｉは、オーステナイト安定化元素である。芯線のＮｉ含有量が低すぎると、溶接棒全体のＮｉ含有量が不足し、溶接金属のオーステナイト化が進行し難くなり、低温靭性が劣化する。また、溶接金属の低温靭性を確保するために、フラックスのＮｉ含有量を過度に増やす必要が生じる。
　一方、芯線のＮｉ含有量を増やすと、溶接棒のコストが高くなる。
　よって、芯線のＮｉ含有量は、１．０～３０．０％とする。
　芯線のＮｉ含有量の下限は、好ましくは、２．０％、３．０％、５．０％、６．０％超、６．２％、７．０％、８．０％超、又は８．２％である。
　芯線のＮｉ含有量の上限は、好ましくは、２８．０％、２６．０％、２４．０％、２２．０％、２０．０％、１９．０％、１８．０％、１５．０％、又は１２．０％である。
【００２４】
（Ｃｒ：０～１０．０％）
　Ｃｒは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性向上のため、芯線に含有させてもよい。
　一方、芯線のＣｒ含有量が過剰であると、芯線にマルテンサイト組織が形成され、芯線加工が困難になる。また、芯線のＣｒ含有量が過剰であると、溶融金属における低融点化合物の量が増大し、さらに溶融金属の固液共存温度範囲が広がるので、高温割れを起こしやすくなる。
　よって、芯線のＣｒ含有量は、０～１０．０％とする。
　芯線のＣｒ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０２％、１．０％、２．０％、又は３．０％である。
　芯線のＣｒ含有量の上限は、好ましくは、９．０％、８．０％、８．０％未満、７．８％、７．０％、６．０％未満、又は５．８％である。
【００２５】
（Ｍｏ：０～１０．０％）
　Ｍｏは、析出強化元素であり、溶接金属の強度向上のため、芯線に含有させてもよい。一方、芯線のＭｏ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＭｏ含有量が過剰であると、溶接金属の強度が過剰となり、低温靭性が低下する。
　よって、芯線のＭｏ含有量は、０～１０．０％とする。
　芯線のＭｏ含有量の下限は、好ましくは、１．０％、２．０％、又は３．０％である。
　芯線のＭｏ含有量の上限は、好ましくは、９．０％、８．０％、又は７．０％である。
【００２６】
（Ｎｂ：０～１．００％）
　Ｎｂは、溶接金属中で炭化物を形成し、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、芯線に含有させてもよい。
　一方で、芯線のＮｂ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＮｂ含有量が過剰であると、溶接金属の高温割れが発生する懸念がある。
　よって、芯線のＮｂ含有量は、０～１．００％とする。
　芯線のＮｂ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．

１５％、又は０．２０％である。
芯線のＮｂ含有量の上限は、好ましくは、０．９５％、０．９０％、０．８５％、又は０．８０％である。
【００２７】
（Ｖ　：０～１．００％）
Ｖは、溶接金属中で炭窒化物を形成し、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、芯線に含有させてもよい。
一方で、芯線のＶ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＶ含有量が過剰であると、溶接金属の高温割れが発生する可能性がある。
よって、芯線のＶ含有量は、０～１．００％とする。
芯線のＶ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
芯線のＶ含有量の上限は、好ましくは、０．９５％、０．９０％、０．８５％、又は０．８０％である。
【００２８】
（Ｃｏ：０～１．００％）
Ｃｏは、固溶強化により、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＣｏ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＣｏ含有量が過剰であると、溶接金属の延性が低下し、靭性を確保できない。
よって、芯線のＣｏ含有量は、０～１．００％とする。
芯線のＣｏ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
芯線のＣｏ含有量の上限は、好ましくは、０．９５％、０．９０％、０．８５％、又は０．８０％である。
【００２９】
（Ｐｂ：０～１．００％）
Ｐｂは、母材である鋼材と溶接金属との間の止端成形性を向上させ溶接金属の切削性を向上させる効果があるため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＰｂ含有量が過剰であると、アーク状態が劣化しスパッタを増大させる。
よって、芯線のＰｂ含有量は、０～１．００％とする。
芯線のＰｂ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
芯線のＰｂ含有量の上限は、好ましくは、０．９５％、０．９０％、０．８５％、又は０．８０％である。
【００３０】
（Ｓｎ：０～１．００％）
Ｓｎは、溶接金属の耐食性を向上させる元素であるため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＳｎ含有量が過剰であると、溶接金属での割れ発生の懸念がある。
よって、芯線のＳｎ含有量は、０～１．００％とする。
芯線のＳｎ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
芯線のＳｎ含有量の上限は、好ましくは、０．９５％、０．９０％、０．８５％、又は０．８０％である。
【００３１】
（Ａｌ：０～０．１０％）
Ａｌは、脱酸元素であり、溶接欠陥抑制、及び溶接金属の清浄度向上のため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＡｌ含有量が過剰であると、芯線中に粗大介在物が生成され、芯線加工が困難になる。また、芯線のＡｌ含有量が過剰であると、Ａｌが溶接金属中で窒化物又は酸

化物を形成して、溶接金属の低温靭性が低下する可能性がある。
よって、芯線のＡｌ含有量は、０～０．１０％とする。
芯線のＡｌ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０２％、又は０．０３％である。
芯線のＡｌ含有量の上限は、好ましくは、０．０９％、０．０８％、又は０．０７％である。
【００３２】
（Ｔｉ：０～０．１０％）
Ｔｉは、脱酸元素であり、溶接欠陥抑制、及び溶接金属の清浄度向上のため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＴｉ含有量が過剰であると、芯線中に粗大介在物が生成され、芯線加工が困難になる。また、芯線のＴｉ含有量が過剰であると、溶接金属に炭化物が生成し、溶接金属の靭性を劣化させる可能性がある。
よって、芯線のＴｉ含有量は、０～０．１０％とする。
芯線のＴｉ含有量の下限は、好ましくは、０．００３％、０．０１％、０．０２％、又は０．０３％である。
芯線のＴｉ含有量の上限は、好ましくは、０．０９％、０．０８％、又は０．０７％である。
【００３３】
（Ｂ　：０～０．１０００％）
Ｂは、オーステナイト安定化元素であり、侵入型固溶強化元素でもあり、溶接金属の低温靭性及び強度の向上のため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＢ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＢ含有量が過剰であると、$M_{23}(C,B)_6$が析出し、靭性劣化の原因となる。
よって、芯線のＢ含有量は、０～０．１０００％とする。
芯線のＢ含有量の下限は、好ましくは、０．０００５％、０．００１０％、又は０．００２０％である。
芯線のＢ含有量の上限は、好ましくは、０．０８００％、０．０５００％、又は０．０１００％である。
【００３４】
（Ｎ　：０～０．５０００％）
Ｎは、オーステナイト安定化元素であり、侵入型固溶強化元素でもあり、溶接金属の低温靭性及び強度の向上のため、芯線に含有させてもよい。
一方、芯線のＮ含有量が過剰であると、芯線が硬くなり、芯線加工が困難となる。また、芯線のＮ含有量が過剰であると、ブローの発生が増大し、溶接欠陥の原因となる。
よって、芯線のＮ含有量は、０～０．５０００％とする。
芯線のＮ含有量の下限は、好ましくは、０．００１０％、０．０１００％、又は０．０５００％である。
芯線のＮ含有量の上限は、好ましくは、０．４５００％、０．４０００％、又は０．３５００％である。
【００３５】
（Ｏ　：０～０．００５０％）
Ｏは、不純物として芯線中に含有されることがある。しかしながら、Ｏの含有量が過剰になると、溶接金属における靭性および延性の劣化を招くため、芯線のＯ含有量の上限は、０．００５０％以下とする。
芯線のＯ含有量の上限は、好ましくは、０．００４０％、又は０．００３０％である。
一方、Ｏの含有量の低減による製造コストの上昇を抑制する観点から、芯線のＯ含有量の下限は、好ましくは、０．０００３％、又は０．０００５％である。
【００３６】
（残部：Ｆｅ及び不純物）

芯線の化学成分におけるその他の残部成分は、Ｆｅ及び不純物である。
不純物とは、芯線を工業的に製造する際に、鉱石若しくはスクラップ等のような原料、又は製造工程の種々の要因によって混入する成分であって、溶接棒の特性に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。
【００３７】
（Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ））
Ｍｎ及びＮｉは、各々、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性を向上させる。一方、Ｎｉは高価な金属であるため、溶接棒のコストを抑えつつ、溶接金属の低温靭性を向上させるには、芯線におけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）を５．０％以上とする。
芯線におけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、好ましくは、７．０％以上、１０．０％以上、又は１５．０％以上である。
【００３８】
また、Ｍｎはヒュームの発生量増大の原因となる元素である。また、Ｍｎを過剰に添加すると積層欠陥エネルギーが低下し、靭性が劣化する。そのため、溶接棒のコストを抑え、溶接金属の低温靭性を向上させつつ、ヒュームの発生量を低減する観点から、芯線におけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、３７．０％以下とすることが好ましい。
芯線におけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、より好ましくは、３５．０％以下、３２．０％以下、又は３０．０％以下である。
【００３９】
（Ｍｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ））
Ｍｎ、Ｎｉ及びＣｒは、各々、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性を向上させる。一方、Ｎｉは高価な金属であるため、溶接棒のコストを抑えつつ、溶接金属の低温靭性を向上させるには、芯線におけるＭｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）を１５．０％以上とする。
芯線におけるＭｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）は、好ましくは、１７．０％以上、１９．０％以上、２０．０％以上、２２．０％以上、２４．０％以上、２６．０％以上、２８．０％以上、又は３０．０％以上である。
【００４０】
Ｍｎはヒュームの発生量増大の原因となる元素である。また、Ｍｎを過剰に添加すると積層欠陥エネルギーが低下し、靭性が劣化する。Ｃｒはマルテンサイト組織を形成させる元素であり、芯線の加工性に影響を与える。また、Ｃｒは溶融金属における低融点化合物の量を増大させる原因となる。そのため、溶接棒のコストを抑え、溶接金属の低温靭性を向上させつつ、ヒュームの発生量を低減し、芯線加工性を高め、且つ溶融金属における低融点化合物の発生量を低減する観点から、芯線におけるＭｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）は、４７．０％以下とすることが好ましい。
芯線におけるＭｎ含有量、Ｎｉ含有量及びＣｒ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）は、より好ましくは、４５．０％以下、４２．０％以下、又は４０．０％以下である。
【００４１】
（Ｍｎ含有量とＮｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ））
Ｍｎ及びＮｉは、各々、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性を向上させる。一方、Ｎｉは高価な金属であり、Ｍｎはヒュームの発生量増大の原因となる元素である。また、Ｍｎを過剰に添加すると積層欠陥エネルギーが低下し、靭性が劣化する。なお、Ｎｉは積層欠陥エネルギーを上げることで、靭性を向上させる。
そのため、溶接棒のコストを抑えつつ、溶接金属の低温靭性を向上し、かつヒュームの発生量を低減する観点から、芯線におけるＭｎ含有量とＮｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）を０．１０以上とすることが好ましい。

芯線におけるＭｎ含有量とＮｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）の下限は、より好ましくは、０．２０、０．３０、０．５０、０．７０、１．００、１．１０、又は１．２０である。
芯線におけるＭｎ含有量とＮｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）の上限は、好ましくは、１０．００、８．００、又は５．００である。
【００４２】
（磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合）
溶接金属における低温靭性を高めるためには、芯線の組織におけるオーステナイトの割合を高めることが好ましい。そのため、芯線におけるｆｃｃ割合を、７０％以上とする。ｆｃｃ割合は、好ましくは、８０％以上、又は９０％以上であり、１００％であってもよい。なお、組織の残部はｂｃｃである。
【００４３】
芯線の組織におけるｆｃｃ割合は、次の方法で求めることができる。
芯線からサンプルを採取し、サンプル表面において、ＦＥＲＩＴＳＣＯＰＥ（登録商標）　ＦＭＰ３０（株式会社フィッシャー・インストルメンツ製）を用い、当該測定器のプローブに株式会社フィッシャー・インストルメンツ製プローブ（ＦＧＡＢ　１．３－Ｆｅ）を用いて、磁気誘導法によりｂｃｃ割合（％）を測定し、測定されたｂｃｃ割合の算術平均値を求める。得られたｂｃｃ割合の平均値を用いて、以下の式により、芯線の組織におけるｆｃｃ割合（％）を求める。
ｆｃｃ割合＝１００－ｂｃｃ割合
【００４４】
（フラックスの化学成分）
以下、本開示に係るフラックスの好ましい化学成分について説明する。
なお、フラックスの化学成分の説明において、「％」は、特に説明がない限り、「フラックスの全質量に対する質量％」を意味する。
【００４５】
本開示に係るフラックスの化学成分は、
Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計：０～２５．００％、
Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計：０～５．００％、
Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計：０～５．００％、
Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計：０～５．００％、
Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計：０～２５．００％、
Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計：０～５．００％、
Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計：０～５．００％、
CaF_2：０～３０．００％、
$CaCO_3$：０～６０．００％、
$BaCO_3$：０～１５．００％、
$MgCO_3$：０～１５．００％、及び
Li_2CO_3：０～１５．００％、を含むことが好ましい。
【００４６】
（Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計：０～２５．００％）
Ｔｉ酸化物は、スラグ成分であり、ビード全体を均一にスラグで被包させる作用を有する。また、Ｔｉ酸化物は、アークの持続を安定させ、スパッタ発生量を低減させる効果を有し、溶接作業性（特に立向溶接性）が向上する。そのため、Ｔｉ酸化物を含ませてもよい。
ただし、Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計とＳｉ酸化物のSiO_2換算値の合計の和が５．００％以上であることが好ましく、つまりＴｉ酸化物とＳｉ酸化物とのいずれか一方のみを含んでいてもよい。よって、Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計の下限は０％であってもよい。

一方、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計が２５．００％以下であることで、溶接金属の酸素量を抑制でき、低温靭性が確保できる。また、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計が２５．００％以下であることで、スラグの粘性の高まりを抑制できるため、スラグが厚くなり過ぎず、ビードの止端部が膨らんだ形状となることが抑制できる。また、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計が２５．００％以下であることで、ピットの発生を抑制できる。また、スラグ巻き込みの発生を抑制できる。

【００４７】

よって、フラックスにおけるＴｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計は、０～２５．００％とすることが好ましい。

Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計の下限は、より好ましくは、１．００％、２．００％、３．００％、又は５．００％である。

Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計の上限は、より好ましくは、２３．００％、２０．００％、１８．００％、１５．００％、１３．００％、又は１０．００％である。

【００４８】

なお、Ｔｉ酸化物は、主に、フラックス中の、ルチル、酸化チタン、チタンスラグ、イルミナイト、チタン酸ソーダ、チタン酸カリ等として存在し得る。このため、主に、フラックスのＴｉ酸化物の含有量を制御することにより、上記範囲のＴｉ酸化物の含有量とすることができる。

【００４９】

ここで、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計とは、フラックス中に含まれている全てのＴｉ酸化物（例えば、ＴｉＯ、ＴｉＯ$_2$、Ｔｉ$_2$Ｏ$_3$、Ｔｉ$_3$Ｏ$_5$などがあり、ルチル、酸化チタン、チタンスラグ、イルミナイト、チタン酸ソーダ、チタン酸カリ等として添加される。）をＴｉＯ$_2$に換算した場合の、ＴｉＯ$_2$の溶接棒全質量に対する質量％である。

そして、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計は、蛍光Ｘ線分析装置及びＸ線回折（ＸＲＤ）装置を用いて、フラックスに酸化物として存在するＴｉの質量を分析することで求める。なお、蛍光Ｘ線分析によりフラックス中に含有される成分を分析した上で、Ｘ線回折（ＸＲＤ）にて含有される成分の分子構造を解析することで、フラックスに酸化物として存在するＴｉの量と金属成分として含まれるＴｉの量とを分けて求めることができる。

具体的には、まず溶接棒からフラックスを採取し、それを上記の方法により分析する。例えば、分析によってＴｉＯ$_2$、Ｔｉ$_2$Ｏ$_3$、Ｔｉ$_3$Ｏ$_5$が検出された場合であれば、各Ｔｉ酸化物の質量％を［ＴｉＯ$_2$］、［Ｔｉ$_2$Ｏ$_3$］、［Ｔｉ$_3$Ｏ$_5$］で表し、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計を［換算ＴｉＯ$_2$］で表すと、以下の式１により計算される。

［換算ＴｉＯ$_2$］＝（０．６０×［ＴｉＯ$_2$］＋０．６７×［Ｔｉ$_2$Ｏ$_3$］＋０．６４×［Ｔｉ$_3$Ｏ$_5$］）×１．６７・・・式１

式１における係数（０．６０、０．６７、０．６４）は、各酸化物中に含まれるＴｉ量を算出するための係数であり、末尾の乗数（１．６７）は、フラックスに酸化物として存在するＴｉの総量からＴｉＯ$_2$換算値を算出するための乗数である。

【００５０】

ここで、係数の求め方について説明する。Ｍ$_x$Ｏ$_y$（例；ＴｉＯ$_2$、Ｔｉ$_2$Ｏ$_3$、Ｔｉ$_3$Ｏ$_5$）の酸化物が検出されたとすると、Ｍ$_x$Ｏ$_y$にかかる係数は下記式２で計算する。

［Ｍ元素の原子量］×ｘ／（［Ｍ元素の原子量］×ｘ＋［酸素の原子量］×ｙ）・・・式２

式１における０．６０、０．６７、０．６４が、上記式２で求められる係数に相当する。

また、換算値を算出するための乗数の求め方について説明する。Ｍ$_a$Ｏ$_b$（例；ＴｉＯ$_2$）に換算するための乗数は下記式３で計算する。

（［Ｍ元素の原子量］×ａ＋［酸素の原子量］×ｂ）／（［Ｍ元素の原子量］×ａ）・・・式３

式１における１．６７が、上記式３で求められる乗数に相当する。

なお酸化物は、２種の金属元素と結合した化合物である場合も考えられる。その場合の係数の求め方は、Ｍ$_x$Ｏ$_y$Ｍ^2$_z$（例；ＴｉＯ$_3$・Ｆｅ、つまりＭ＝Ｔｉ、Ｍ^2＝Ｆｅ、ｘ＝１、ｙ＝３、ｚ＝１の酸化物）が検出されたとすると、下記式４で計算する。

［Ｍ元素の原子量］×ｘ／（［Ｍ元素の原子量］×ｘ＋［酸素の原子量］×ｙ＋［Ｍ^{2}元素の原子量］×ｚ）・・・式４

【００５１】

なお、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計、Ｚｒ酸化物のＺｒＯ$_{2}$換算値の合計、Ａｌ酸化物のＡｌ$_{2}$Ｏ$_{3}$換算値の合計、Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計、Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計、Ｎａ酸化物のＮａ$_{2}$Ｏ換算値の合計、Ｋ酸化物のＫ$_{2}$Ｏ換算値の合計、Ｍｎ酸化物のＭｎＯ$_{2}$換算値の合計、及びＦｅ酸化物のＦｅＯ換算値の合計も、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_{2}$換算値の合計と同様の計算により得られる。つまり、蛍光Ｘ線分析装置及びＸ線回折（ＸＲＤ）装置によって採取したフラックスを分析し、検出された各種酸化物に応じて、前記式２、式３、式４に即して係数および乗数を算出し、前記式１と同様にして計算する。

分析によって検出される代表的な酸化物を、以下に列挙する。

Ｓｉ酸化物；ＳｉＯ、ＳｉＯ$_{2}$、Ｓｉ$_{2}$Ｏ$_{3}$、Ｓｉ$_{2}$Ｏ$_{4}$

Ｚｒ酸化物；ＺｒＯ$_{2}$

Ａｌ酸化物；ＡｌＯ、Ａｌ$_{2}$Ｏ$_{3}$、Ａｌ$_{3}$Ｏ$_{5}$

Ｍｇ酸化物；ＭｇＯ、ＭｇＯ$_{2}$、Ｍｇ$_{2}$Ｏ

Ｃａ酸化物；ＣａＯ、ＣａＯ$_{2}$

Ｎａ酸化物；Ｎａ$_{2}$Ｏ、Ｎａ$_{2}$Ｏ$_{2}$

Ｋ酸化物　；Ｋ$_{2}$Ｏ、ＫＯ$_{2}$

Ｍｎ酸化物；ＭｎＯ、Ｍｎ$_{2}$Ｏ、ＭｎＯ$_{2}$

Ｆｅ酸化物；ＦｅＯ、Ｆｅ$_{2}$Ｏ$_{4}$、ＦｅＯ$_{3}$

【００５２】

（Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計：０～２５．００％）

Ｓｉ酸化物は、スラグ成分であり、溶融スラグの粘性を高め、スラグ剥離性を改善する作用を有するので、かかる観点からＳｉ酸化物を含有させてもよい。

ただし、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_{2}$換算値の合計とＳｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計の和が５．００％以上であることが好ましく、つまりＴｉ酸化物とＳｉ酸化物とのいずれか一方のみを含んでいてもよい。よって、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計の下限は０％であってもよい。

なお、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計が０．１０％以上であることで、スラグ被包状態がより良好になりスラグ剥離性が高められ、ビード形状及びビード外観をより良好にできる。また、溶接作業性（特に立向溶接性）が確保できる。

一方、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計が２５．００％以下であることで、溶接金属の酸素量を抑制でき、低温靭性が確保できる。また、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計が２５．００％以下であることで、スパッタ発生量を抑制できる。さらに、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計が２５．００％以下であることで、ピット及びガス溝等の発生を抑制できる。また、スラグ巻き込みの発生を抑制できる。

【００５３】

よって、フラックスにおけるＳｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計は、０～２５．００％とすることが好ましい。

Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計の下限は、より好ましくは、０．０５％、０．１０％、０．１５％、０．２０％、又は０．２５％である。

Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計の上限は、より好ましくは、２３．００％、２０．００％、１８．００％、１５．００％、１３．００％、又は１０．００％である。

【００５４】

なお、Ｓｉ酸化物は、主に、フラックス中の珪砂、ジルコンサンド、長石、珪酸ソーダ、珪酸カリ等として存在し得る。

【００５５】

（Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_{2}$換算値の合計とＳｉ酸化物のＳｉＯ$_{2}$換算値の合計の和が５．０％以上）

Ｔｉ酸化物およびＳｉ酸化物は、スラグ成分であり、スラグの被包状態を良好にする観点、および溶接作業性の観点から、少なくとも一方を含有させることが好ましい。特に、フラックスにおけるＴｉ酸化物のＴｉO_2換算値の合計とＳｉ酸化物のＳｉO_2換算値の合計の和を、５．０％以上とすることが好ましい。

フラックスにおけるＴｉ酸化物のＴｉO_2換算値の合計とＳｉ酸化物のＳｉO_2換算値の合計の和の下限は、より好ましくは、７．０％、又は１０．０％である。

フラックスにおけるＴｉ酸化物のＴｉO_2換算値の合計とＳｉ酸化物のＳｉO_2換算値の合計の和の上限は、好ましくは、５０．０％、４５．０％、４０．０％、３５．０％、又は３０．０％である。

【００５６】

（Ｚｒ酸化物のＺｒO_2換算値の合計：０～５．００％）

Ｚｒ酸化物は、溶接金属の酸素量を増加させ、低温靭性を劣化させる。そのため、低温靭性の観点からはＺｒ酸化物は含まないことが好ましく、Ｚｒ酸化物のＺｒO_2換算値の合計の下限は０％とする。

【００５７】

ただし、Ｚｒ酸化物は、スラグ成分であり、水平すみ肉溶接でスラグ被包性を高めてビード形状を平滑にする作用を有するので、かかる観点から含有させてもよい。

一方で、Ｚｒ酸化物のＺｒO_2換算値の合計が５．００％以下であることで、ビード形状が凸状になることを抑制できる。また、スラグ巻き込みの発生を抑制できる。

【００５８】

よって、フラックスにおけるＺｒ酸化物のＺｒO_2換算値の合計は、０～５．００％とすることが好ましい。

Ｚｒ酸化物のＺｒO_2換算値の合計の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。

【００５９】

なお、Ｚｒ酸化物は、主に、フラックス中のジルコンサンド、酸化ジルコニウム等として存在し得るものであり、また、Ｔｉ酸化物に微量含有される場合もある。

【００６０】

（Ａｌ酸化物のＡｌ$_2O_3$換算値の合計：０～５．００％）

Ａｌ酸化物は、酸素源となるので、Ａｌ酸化物を添加すると、溶接金属中の酸素量が増加し、靭性劣化の要因となる。そのため、低温靭性の観点からはＡｌ酸化物は含まないことが好ましく、Ａｌ酸化物のＡｌ$_2O_3$換算値の合計の下限は０％とする。

【００６１】

ただし、Ａｌ酸化物は、溶融スラグを構成した場合、スラグ被包性を良好にすることにより、すみ肉ビードの上脚側のアンダーカットを防止する作用を有するので、かかる観点から含有させてもよい。

一方、Ａｌ酸化物のＡｌ$_2O_3$換算値の合計が５．００％以下であることで、すみ肉ビードの下脚側のビード止端部が膨らんだビード形状となることを抑制できる。また、スラグ巻き込みの発生を抑制できる。

よって、フラックスにおけるＡｌ酸化物のＡｌ$_2O_3$換算値の合計は、０～５．００％とすることが好ましい。

Ａｌ酸化物のＡｌ$_2O_3$換算値の合計の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。

【００６２】

なお、Ａｌ酸化物は、主にフラックス中のアルミナ、長石等の成分として存在する場合が多い。

【００６３】

（Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計：０～５．００％）

Ｍｇ酸化物は、溶接時に分解したＭｇが脱酸剤として作用し、溶接金属の酸素量を低減する。それにより溶接金属の低温靭性が向上するので、含有させてもよい。Ｍｇ酸化物の

ＭｇＯ換算値の合計が０．１０％以上であることで、溶接金属の酸素量の低減作用が大きくなり、さらに低温靭性が向上する。
一方、Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計が５．００％以下であることで、溶接スラグの凝固温度の低温化を抑制でき、溶接作業性（特に立向溶接性）を向上できる。
【００６４】
よって、フラックスにおけるＭｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計は、０～５．００％とすることが好ましい。
Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。
【００６５】
（Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計：０～２５．００％）
Ｃａ酸化物は、スラグ形状を整え、溶接後のスラグ剥離を容易にし、アークを安定にするので、含有させてもよい。
一方、Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計が２５．００％以下であることで、Ｃａ酸化物に含まれる酸素が溶融池に入りこむことによる溶接金属での酸素量の増加を抑制でき、溶接金属の靭性低下を抑制できる。
【００６６】
よって、フラックスにおけるＣａ酸化物のCaO_2換算値の合計は、０～２５．００％とすることが好ましい。
Ｃａ酸化物のCaO_2換算値の合計の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
Ｃａ酸化物のCaO_2換算値の合計の上限は、より好ましくは、２３．００％、２０．００％、１８．００％、１５．００％、１３．００％、又は１０．００％である。
【００６７】
（Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計：０～５．００％）
Ｎａ酸化物は、溶接時に分解したＮａが脱酸剤として作用し、溶接金属の酸素量を低減する。それにより溶接金属の低温靭性が向上するので、含有させてもよい。Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計が０．１０％以上であることで、溶接金属の酸素量の低減作用が大きくなり、さらに低温靭性が向上する。
一方、Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計が５．００％以下であることで、溶接スラグの凝固温度の低温化を抑制でき、溶接作業性（特に立向溶接性）を向上できる。
【００６８】
よって、フラックスにおけるＮａ酸化物のNa_2O換算値の合計は、０～５．００％とすることが好ましい。
Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。
【００６９】
（Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計：０～５．００％）
Ｋ酸化物は、溶接時に分解したＫが脱酸剤として作用し、溶接金属の酸素量を低減する。それにより溶接金属の低温靭性が向上するので、含有させてもよい。Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計が０．１０％以上であることで、溶接金属の酸素量の低減作用が大きくなり、さらに低温靭性が向上する。
一方、Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計が５．００％以下であることで、溶接スラグの凝固温度の低温化を抑制でき、溶接作業性（特に立向溶接性）を向上できる。
【００７０】
よって、フラックスにおけるＫ酸化物のK_2O換算値の合計は、０～５．００％とする

ことが好ましい。
　Ｋ酸化物のＫ$_2$Ｏ換算値の合計の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
　Ｋ酸化物のＫ$_2$Ｏ換算値の合計の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。
【００７１】
（その他の酸化物）
　本開示に係るフラックスには、その他の酸化物として、例えば、Ｆｅ酸化物、及びＭｎ酸化物等の酸化物を含んでもよい。
　なお、Ｆｅ酸化物の含有量とはＦｅ酸化物のＦｅＯ換算値の合計を意味し、Ｍｎ酸化物の含有量とはＭｎ酸化物のＭｎＯ換算値の合計を意味する。
【００７２】
（ＣａＦ$_2$：０～３０．００％）
　ＣａＦ$_2$は、溶接金属の酸素量を低減する効果があるので、含有させてもよい。ＣａＦ$_2$の含有量が０．１０％以上であることで、溶接金属の酸素量の低減作用が大きくなり、さらに低温靭性が向上する。
　一方、ＣａＦ$_2$の含有量が３０．００％以下であることで、ヒュームの発生を低減でき、溶接欠陥の発生を抑制できる。
【００７３】
　よって、フラックスにおけるＣａＦ$_2$含有量は、０～３０．００％とすることが好ましい。
　ＣａＦ$_2$含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
　ＣａＦ$_2$含有量の上限は、より好ましくは、２８．００％、２５．００％、２３．００％、２０．００％、１８．００％、又は１５．００％である。
【００７４】
（その他の弗化物）
　本開示に係るフラックスには、その他の弗化物として、例えば、Ｋ$_2$ＳｉＦ$_6$、Ｋ$_2$ＺｒＦ$_6$、ＮａＦ、Ｎａ$_3$ＡｌＦ$_6$、及びＭｇＦ$_2$等の弗化物を含んでもよい。
【００７５】
　なお、ＣａＦ$_2$、及びその他の弗化物の含有量は、前述したＴｉ酸化物の含有量と同様に蛍光Ｘ線分析及びＸ線回折（ＸＲＤ）によって測定する。
【００７６】
（ＣａＣＯ$_3$：０～６０．００％）
（ＢａＣＯ$_3$：０～１５．００％）
（ＭｇＣＯ$_3$：０～１５．００％）
（Ｌｉ$_2$ＣＯ$_3$：０～１５．００％）
　金属炭酸塩は、アークによって電離し、ＣＯ$_2$ガスを発生させる。ＣＯ$_2$ガスは、溶接雰囲気中の水素分圧を下げ、溶接金属中の拡散性水素量を低減させる。そのため、本開示に係るフラックスは、金属炭酸塩としてＣａＣＯ$_3$、ＢａＣＯ$_3$、ＭｇＣＯ$_3$、及びＬｉ$_2$ＣＯ$_3$からなる群から選択される１種又は２種以上を含んでもよい。
　一方、金属炭酸塩の含有量を低減することで、スパッタの発生量を抑制できる。
【００７７】
　よって、フラックスにおけるＣａＣＯ$_3$含有量は、０～６０．００％とすることが好ましい。
　ＣａＣＯ$_3$含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
　ＣａＣＯ$_3$含有量の上限は、より好ましくは、５５．００％、５０．００％、４５．００％、４０．００％、３５．００％、又は３０．００％である。
【００７８】

また、フラックスにおける$BaCO_3$含有量は、０～１５．００％とすることが好ましい。
$BaCO_3$含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
$BaCO_3$含有量の上限は、より好ましくは、１４．００％、１２．００％、１０．００％、８．００％、７．００％、又は５．００％である。
【００７９】
また、フラックスにおける$MgCO_3$含有量は、０～１５．００％とすることが好ましい。
$MgCO_3$含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
$MgCO_3$含有量の上限は、より好ましくは、１４．００％、１２．００％、１０．００％、８．００％、７．００％、又は５．００％である。
【００８０】
また、フラックスにおけるLi_2CO_3含有量は、０～１５．００％とすることが好ましい。
Li_2CO_3含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．４０％である。
Li_2CO_3含有量の上限は、より好ましくは、１４．００％、１２．００％、１０．００％、８．００％、７．００％、又は５．００％である。
【００８１】
（$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3の含有量の合計が５．００％以上）
$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3は、シールドガスの発生源であり、良好な機械特性を確保する観点から、いずれか一種以上を含有させることが好ましい。特に、フラックスにおける$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3の含有量の合計を、５．００％以上とすることが好ましい。
なお、フラックスにおける$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3の含有量の合計の下限は、より好ましくは、７．００％、又は１０．００％である。
フラックスにおける$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3の含有量の合計の上限は、好ましくは、９０．００％、８０．００％、７０．００％、６５．００％、又は６０．００％である。
【００８２】
（その他の金属炭酸塩）
本開示に係るフラックスには、その他の金属炭酸塩として、例えば、Na_2CO_3、K_2CO_3、$FeCO_3$、$MnCO_3$、及び$SrCO_3$等の金属炭酸塩を含んでもよい。
【００８３】
なお、$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、Li_2CO_3、及びその他の金属炭酸塩の含有量は、前述したＴｉ酸化物の含有量と同様に蛍光Ｘ線分析及びＸ線回折（ＸＲＤ）によって測定する。
【００８４】
（Ｔｉ酸化物、Ｓｉ酸化物、Ｚｒ酸化物、Ａｌ酸化物、Ｍｇ酸化物、Ｃａ酸化物、Ｎａ酸化物、Ｋ酸化物、CaF_2、$CaCO_3$、$BaCO_3$、$MgCO_3$、及びLi_2CO_3の和Ｘ）
本開示に係るフラックスの化学成分は、被覆アーク溶接棒の全質量に対する質量％で、Ｔｉ酸化物のTiO_2換算値の合計と、Ｓｉ酸化物のSiO_2換算値の合計と、Ｚｒ酸化物のZrO_2換算値の合計と、Ａｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計と、Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計と、Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計と、Ｎａ酸化物のNa_2O換算値の合計と、Ｋ酸化物のK_2O換算値の合計と、CaF_2含有量と、$CaCO_3$含有量と、$BaCO_3$含有量と、$MgCO_3$含有量と、Li_2CO_3含有量と、の和Ｘ（以下単に「特定添

加剤の和Ｘ」と称す）が、９４．９８％以下であることが好ましい。
特定添加剤の和Ｘを９４．９８％以下とすることで、スラグ巻き込みを防ぐことができる。
特定添加剤の和Ｘは、より好ましくは、９０．００％以下、８５．００％以下、８０．００％以下、７５．００％以下、又は７０．００％である。
【００８５】
（窒化物）
本開示に係るフラックスは、さらに窒化物を含んでもよい。
窒化物は、溶接金属中の拡散性水素量を減少させて、溶接金属の耐低温割れ性を顕著に向上させる働きを有する。この理由は明らかではないが、窒化物中のＮが溶接中に水素（Ｈ）と結合してアンモニア（NH_3）となり、このNH_3が溶接金属外に放出されることが理由の一つであると推測される。
【００８６】
本開示に係るフラックスには窒化物として、例えば、ＡｌＮ、ＢＮ、Ca_3N_2、ＣｅＮ、ＣｒＮ、Cu_3N、Fe_4N、Fe_3N、Fe_2N、Mg_3N、Mo_2N、ＮｂＮ、Si_3N_4、ＴｉＮ、ＶＮ、ＺｒＮ、Mn_2N、及びMn_4Nからなる群から選択される１種又は２種以上を含んでもよい。
【００８７】
なお、窒化物の含有量は、前述したＴｉ酸化物の含有量と同様に蛍光Ｘ線分析及びＸ線回折（ＸＲＤ）によって測定する。
【００８８】
（フラックス入りワイヤの化学成分における金属成分）
次いで、本開示に係るフラックスの好ましい化学成分における金属成分について説明する。
なお、フラックスの金属成分の説明において、「％」は、特に説明がない限り、「フラックスの全質量に対する質量％」を意味する。
ここで、フラックスの「化学成分における金属成分」とは、フラックスに含まれる成分のうち、酸化物、弗化物、窒化物、及び金属炭酸塩を除く成分を意味する。
【００８９】
本開示に係るフラックスは、被覆アーク溶接棒の全質量に対する質量％で、フラックスの化学成分における金属成分が、
Ｃ　：０．０２０～５．０００％、
Ｓｉ：０～５．００％、
Ｍｎ：０～３０．００％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～２０．０％、
Ｎｉ：０～２０．０％、
Ｃｒ：０～２０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～５．００％、
Ｖ　：０～５．０％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ｗ　：０～２０．０％、
Ｍｇ：０～５．００％、
Ａｌ：０～５．０％、
Ｃａ：０～５．００％、
Ｔｉ：０～５．０００％、

Ｂ：０～５．００００％、
ＲＥＭ：０～５．００％、
Ｂｉ：０～５．０００％、
Ｎ　：０～５．００００％、並びに
残部：Ｆｅ及び不純物であることが好ましい。
つまり、本開示に係るフラックスにおいて、上記成分は、酸化物、弗化物、窒化物、及び金属炭酸塩以外に含まれる成分の含有量である。

【００９０】
また、フラックスにおけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上であることが好ましい。

【００９１】
（Ｃ　：０．０２０～５．０００％）
Ｃは、溶接金属の強度を向上させる元素であり、溶接金属の強度を確保するための元素である。
一方で、フラックスのＣ含有量を低減することで、溶接金属の強度上昇による、靭性を劣化させる影響を抑制でき、溶接金属の低温靭性を確保できる。
よって、フラックスのＣ含有量は、０．０２０～５．０００％とすることが好ましい。
フラックスのＣ含有量の下限は、より好ましくは、０．０５０％、０．１００％、又は０．２００％である。
フラックスのＣ含有量の上限は、より好ましくは、４．５００％、４．０００％、３．５００％、又は３．０００である。

【００９２】
（Ｓｉ：０～５．００％）
Ｓｉは、溶接金属の清浄度を向上し、ブローホールなどの溶接欠陥の発生を抑制するため、フラックスに含有させてもよい。
一方で、フラックスのＳｉ含有量を低減することで、Ｎｉ鋼、Ｎｉ基合金鋼の溶接においては、溶接金属中でのミクロ偏析を抑制でき、偏析部での脆化を抑制できる。
よって、フラックスのＳｉ含有量は、０～５．００％とすることが好ましい。
フラックスのＳｉ含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．２０％、０．２５％、０．３０％、又は０．３５％である。
フラックスのＳｉ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、３．５０％、又は３．００％である。

【００９３】
（Ｍｎ：０～３０．００％）
Ｍｎは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属のオーステナイト化を進行させることができ、低温靭性を確保できる。また、溶接金属の低温靭性を確保するために、芯線に添加するＭｎ含有量を過度に増やさずに済む。
また、Ｍｎは、脱酸剤として機能して溶接金属の清浄度を向上させる元素である。また、Ｍｎは、ＭｎＳを形成することで、溶接金属中のＳを無害化し、溶接金属の低温靭性を向上させる元素である。加えて、Ｍｎは高温割れを防ぐ効果も有する。そのため、Ｍｎをフラックスに含有させてもよい。
ただし、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上であることが好ましく、つまりフラックスはＭｎとＮｉとのいずれか一方のみを含んでいてもよい。よって、Ｍｎ含有量の下限は０％であってもよい。
一方、フラックスのＭｎ含有量を低減することで、Ｎｉ鋼、Ｎｉ基合金鋼の溶接においては、溶接金属中でのミクロ偏析を抑制でき、偏析部での脆化を抑制できる。
よって、フラックスのＭｎ含有量は、０～３０．００％とすることが好ましい。
フラックスのＭｎ含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．５０％、１．００％、２．００％、５．００％、７．００％、又は９．００％である。
フラックスのＭｎ含有量の上限は、より好ましくは、２８．００％、２５．００％、２

２．００％、又は２０．００％である。
【００９４】
（Ｐ：０～０．０５０％）
Ｐは、不純物元素であり、溶接金属の靭性を低下させるので、フラックスのＰ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、フラックスのＰ含有量の下限は、０％とする。ただし、脱Ｐコストの低減の観点から、Ｐ含有量は、０．００３％以上がよい。
一方、フラックスのＰ含有量が０．０５０％以下であれば、Ｐの靭性への悪影響を抑制できる。
よって、フラックスのＰ含有量は、０～０．０５０％とすることが好ましい。
溶接金属の靭性の低下を効果的に抑制するために、フラックスのＰ含有量は、０．０４０％以下、０．０３０％以下、０．０２０％以下、０．０１５％以下、又は０．０１０％以下がより好ましい。
【００９５】
（Ｓ：０～０．０５０％）
Ｓは、不純物元素であり、溶接金属の靭性を低下させるので、フラックスのＳ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、フラックスのＳ含有量の下限は、０％とする。ただし、脱Ｓコストの低減の観点から、フラックスのＳ含有量は、０．００３％以上がよい。
一方、フラックスのＳ含有量が０．０５０％以下であれば、Ｓの靭性への悪影響を抑制できる。
よって、フラックスのＳ含有量は、０～０．０５０％とすることが好ましい。
溶接金属の靭性の低下を効果的に抑制するために、フラックスのＳ含有量は、０．０４０％以下、０．０３０％以下、０．０２０％以下、０．０１５％以下、又は０．０１０％以下がより好ましい。
【００９６】
（Ｃｕ：０～２０．０％）
Ｃｕは、析出強化元素であり、溶接金属の強度向上のため、フラックスに含有させてもよい。また、Ｃｕは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性向上のため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＣｕ含有量が過剰であると、上記の効果が飽和する。
よって、フラックスのＣｕ含有量は、０～２０．０％とすることが好ましい。
フラックスのＣｕ含有量の下限は、より好ましくは、０．５％、０．７％、又は１．０％である。
フラックスのＣｕ含有量の上限は、より好ましくは、１９．０％、１８．０％、１７．０％、又は１５．０％である。
【００９７】
（Ｎｉ：０～２０．０）
Ｎｉは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属のオーステナイト化を進行させることができ、低温靭性を確保できる。また、溶接金属の低温靭性を確保するために、芯線に添加するＮｉ含有量を過度に増やさずに済む。そのため、Ｎｉをフラックスに含有させてもよい。
ただし、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上であることが好ましく、つまりフラックスはＭｎとＮｉとのいずれか一方のみを含んでいてもよい。よって、Ｎｉ含有量の下限は０％であってもよい。
一方、フラックスのＮｉ含有量を低減することで、フラックスのコストを低減できる。
よって、フラックスのＮｉ含有量は、０～２０．０％とすることが好ましい。
フラックスのＮｉ含有量の下限は、より好ましくは、０．１％、０．５％、１．０％、２．０％、３．０％、５．０％、７．０％、１０．０％、又は１２．０％である。
フラックスのＮｉ含有量の上限は、より好ましくは、１９．０％、１８．０％、１７．０％、又は１５．０％である。

【００９８】
（Ｃｒ：０～２０．０％）
Ｃｒは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属のオーステナイト化を進行させることができ、低温靭性を確保できる。また、溶接金属の低温靭性を確保するために、芯線に添加するＮｉ含有量を過度に増やさずに済む。そのため、Ｃｒをフラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＣｒ含有量を低減することで、溶融金属における低融点化合物の量を低減でき、さらに溶融金属の固液共存温度範囲が狭まるので、高温割れの発生を抑制できる。
よって、フラックスのＣｒ含有量は、０～２０．０％とすることが好ましい。
フラックスのＣｒ含有量の下限は、より好ましくは、０．１％、０．５％、１．０％、２．０％、２．５％、３．０％、又は３．５％である。
フラックスのＣｒ含有量の上限は、より好ましくは、１９．０％、１８．０％、１７．０％、又は１５．０％である。
【００９９】
（Ｍｏ：０～１０．０％）
Ｍｏは、固溶強化元素、かつ析出強化元素であり、溶接金属の強度向上のために、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＭｏ含有量を低減することで、溶接金属の強度が過剰となることが抑制でき、低温靭性を確保できる。
よって、フラックスのＭｏ含有量は、０～１０．０％とすることが好ましい。
フラックスのＭｏ含有量の下限は、より好ましくは、０．１％、０．５％、１．０％、２．０％、２．５％、３．０％、又は３．５％である。
フラックスのＭｏ含有量の上限は、より好ましくは、９．８％、９．５％、９．０％、８．５％、又は８．０％である。
【０１００】
（Ｎｂ：０～５．００％）
Ｎｂは、溶接金属中で炭化物を形成し、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、フラックスに含有させてもよい。
一方で、フラックスのＮｂ含有量を低減することで、溶接金属の高温割れの発生を抑制できる。
よって、フラックスのＮｂ含有量は、０～５．００％とすることが好ましい。
フラックスのＮｂ含有量の下限は、より好ましくは、０．１０％、０．５０％、１．００％、又は１．５０％である。
フラックスのＮｂ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、又は３．５０％である。
【０１０１】
（Ｖ　：０～５．０％）
Ｖは、溶接金属中で炭窒化物を形成し、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、フラックスに含有させてもよい。
一方で、フラックスのＶ含有量を低減することで、溶接金属の高温割れの発生を抑制できる。
よって、フラックスのＶ含有量は、０～５．０％とすることが好ましい。
フラックスのＶ含有量の下限は、より好ましくは、０．１％、０．５％、１．０％、又は１．５％である。
フラックスのＶ含有量の上限は、より好ましくは、４．５％、４．０％、又は３．５％である。
【０１０２】
（Ｃｏ：０～１．００％）
Ｃｏは、固溶強化により、溶接金属の強度を上昇させる元素であるため、フラックスに

含有させてもよい。
一方、フラックスのＣｏ含有量を低減することで、溶接金属の延性の低下が抑制でき、靭性を確保できる。
よって、フラックスのＣｏ含有量は、０～１．００％とすることが好ましい。
フラックスのＣｏ含有量の下限は、より好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
フラックスのＣｏ含有量の上限は、より好ましくは、０．９０％、０．８０％、０．７０％、０．６０％、又は０．３０％である。
【０１０３】
（Ｐｂ：０～１．００％）
Ｐｂは、溶接金属の切削性を向上させる効果があるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＰｂ含有量を低減することで、アーク状態を良好に保ちスパッタの発生を抑制できる。
よって、フラックスのＰｂ含有量は、０～１．００％とすることが好ましい。
フラックスのＰｂ含有量の下限は、より好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
フラックスのＰｂ含有量の上限は、より好ましくは、０．９０％、０．８０％、０．７０％、０．６０％、又は０．３０％である。
【０１０４】
（Ｓｎ：０～１．００％）
Ｓｎは、溶接金属の耐食性を向上させる元素であるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＳｎ含有量を低減することで、溶接金属での割れ発生を抑制できる。
よって、フラックスのＳｎ含有量は、０～１．００％とすることが好ましい。
フラックスのＳｎ含有量の下限は、より好ましくは、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．１５％、又は０．２０％である。
フラックスのＳｎ含有量の上限は、より好ましくは、０．９０％、０．８０％、０．７０％、０．６０％、又は０．３０％である。
【０１０５】
（Ｗ　：０～２０．０％）
Ｗは、固溶強化元素であり、溶接金属の強度向上のために、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのW含有量を低減することで、溶接金属の強度が過剰となることが抑制でき、靭性を確保できる。
よって、フラックスのW含有量は、０～２０．０％とすることが好ましい。
フラックスのW含有量の下限は、より好ましくは、０．１％、０．５％、１．０％、又は２．０％である。
フラックスのW含有量の上限は、より好ましくは、１９．０％、１８０％、１７．０％、又は１５．０％である。
【０１０６】
（Ｍｇ：０～５．００％）
Ｍｇは、脱酸元素であり、溶接金属の酸素を低減し、溶接金属の靭性の改善に効果があるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＭｇ含有量を低減することで、アークが安定して、スパッタおよびブローホールを低減でき、溶接作業性を確保できる。
よって、フラックスのＭｇ含有量は、０～５．００％とすることが好ましい。
フラックスのＭｇ含有量の下限は、より好ましくは、０．０２％、０．０５％、０．１０％、０．２０％、又は０．５０％である。
フラックスのＭｇ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、又は３

．５０％である。
【０１０７】
（Ａｌ：０～５．０％）
Ａｌは、脱酸元素であり、ブローホールなどの溶接欠陥の発生の抑制、及び溶接金属の清浄度向上等に効果があるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＡｌ含有量を低減することで、Ａｌが溶接金属中で窒化物又は酸化物を形成することが低減でき、溶接金属の低温靭性を確保できる。
よって、フラックスのＡｌ含有量は、０～５．０％とすることが好ましい。
フラックスのＡｌ含有量の下限は、より好ましくは、０．０１％、０．０２％、０．０５％、０．１％、０．２％、又は０．５％である。
フラックスのＡｌ含有量の上限は、より好ましくは、４．５％、４．０％、又は３．５％である。
【０１０８】
（Ｃａ：０～５．００％）
Ｃａは、溶接金属中で硫化物の構造を変化させ、また溶接金属中での硫化物及び酸化物のサイズを微細化する働きを有するので、溶接金属の延性及び靭性向上に有効である。そのため、Ｃａをフラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＣａ含有量を低減することで、硫化物及び酸化物の粗大化を抑制でき、溶接金属の低温靭性を確保できる。また、溶接ビード形状の劣化の抑制及びアークの安定化により溶接性を確保できる。
よって、フラックスのＣａ含有量は、０～５．００％とすることが好ましい。
フラックスのＣａ含有量の下限は、より好ましくは、０．０１％、０．０２％、０．０３％、０．０５％、０．１０％、０．２０％、０．３０％、又は０．５０％である。
フラックスのＣａ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、又は３．５０％である。
【０１０９】
（Ｔｉ：０～５．０００％）
Ｔｉは、脱酸元素であり、ブローホールなどの溶接欠陥の発生の抑制、および清浄度向上等に効果があるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＴｉ含有量を低減することで、溶接金属における炭化物の生成を抑制でき、溶接金属の靭性を確保できる。
よって、フラックスのＴｉ含有量は、０～５．０００％とすることが好ましい。
フラックスのＴｉ含有量の下限は、より好ましくは、０．０２０％、０．０５０％、０．１００％、０．２００％、０．３００％、又は０．５００％である。
フラックスのＴｉ含有量の上限は、より好ましくは、４．５００％、４．０００％、又は３．５００％である。
【０１１０】
（Ｂ　：０～５．００００％）
Ｂは、溶接金属の結晶粒界を強化させ、溶接金属の引張強さを一層高める効果があるため、フラックスに含有させてもよい。
一方、フラックスのＢ含有量を低減することで、溶接金属中のＢの量も低減でき、粗大なＢＮ又は$Fe_{23}(C,B)_6$等のＢ化合物の形成が抑制され、溶接金属の低温靭性を確保できる。
よって、フラックスのＢ含有量は、０～５．００００％とすることが好ましい。
フラックスのＢ含有量の下限は、より好ましくは、０．００１０％、０．００５０％、０．０１００％、０．０５００％、０．１０００％、０．２０００％、又は０．５０００％である。
フラックスのＢ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０００％、４．００００％、又は３．５０００％である。
【０１１１】

（ＲＥＭ：０～５．００％）
　ＲＥＭは、アークを安定化させる元素であるので、フラックスに含有させてもよい。
　一方、フラックスのＲＥＭ含有量を低減することで、スパッタの発生を低減でき、溶接作業性を確保できる。
　よって、フラックスのＲＥＭ含有量は、０～５．００％とすることが好ましい。
　フラックスのＲＥＭ含有量の下限は、より好ましくは、０．００１％、０．００５％、０．０１％、０．０５％、０．１０％、０．２０％、又は０．５０％である。
　フラックスのＲＥＭ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０％、４．００％、又は３．５０％である。
【０１１２】
　なお「ＲＥＭ」とは、Ｓｃ、Ｙおよびランタノイドからなる合計１７元素を指し、上記「ＲＥＭ含有量」とは、これらの１７元素の合計含有量を意味する。ランタノイドをＲＥＭとして用いる場合、工業的には、ＲＥＭはミッシュメタルの形で含有される。
【０１１３】
（Ｂｉ：０～５．０００％）
　Ｂｉは、スラグの剥離性を改善する元素であるため、フラックスに含有させてもよい。
　一方、フラックスのＢｉ含有量を低減することで、溶接金属における凝固割れの発生を抑制できる。
　よって、フラックスのＢｉ含有量は、０～５．０００％とすることが好ましい。
　フラックスのＢｉ含有量の下限は、より好ましくは、０．００５％、０．０１０％、０．０５０％、０．１００％、０．２００％、又は０．５００％である。
　フラックスのＢｉ含有量の上限は、より好ましくは、４．５００％、４．０００％、又は３．５００％である。
【０１１４】
（Ｎ　：０～５．００００％）
　Ｎは、オーステナイト安定化元素であり、かつ侵入型固溶強化元素でもある。また、Ｎは、溶接金属の強度上昇による、溶接金属の靭性への悪影響も、Ｃに比較して少ない元素である。そのため、Ｎをフラックスに含有させてもよい。
　一方、フラックスのＮ含有量を低減することで、ブローの発生を低減でき、溶接欠陥の発生を抑制できる。
　よって、フラックスのＮ含有量は、０～５．００００％とすることが好ましい。
　フラックスのＮ含有量の下限は、より好ましくは、０．００５０％、０．００７０％、０．０１００％、０．０１５０％、０．０２００％、０．０３００％、０．０５００％、０．０７００％、０．１０００％、又は０．１５００％である。
　フラックスのＮ含有量の上限は、より好ましくは、４．５０００％、４．００００％、又は３．５０００％である。
【０１１５】
（残部：Ｆｅ及び不純物）
　フラックスの化学成分におけるその他の残部成分は、Ｆｅと不純物である。
　また、不純物とは、フラックスを工業的に製造する際に、原料に由来して、又は製造工程の種々の要因によって混入する成分であって、フラックスに悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。
【０１１６】
（Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）が１．００％以上）
　Ｍｎ及びＮｉは、各々、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性を向上させる。一方、Ｎｉは高価な金属であるため、溶接棒のコストを抑えつつ、溶接金属の低温靭性を向上させるには、フラックスにおけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）を１．００％以上とすることが好ましい。
　フラックスにけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、好ましくは、２

．００％以上、３．００％以上、又は５．００％以上である。
【０１１７】
　また、Ｍｎはヒュームの発生量増大の原因となる元素である。また、Ｍｎを過剰に添加すると積層欠陥エネルギーが低下し、靭性が劣化する。そのため、溶接棒のコストを抑え、溶接金属の低温靭性を向上させつつ、ヒュームの発生量を低減する観点から、フラックスにけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量が各々上記範囲を満たしつつ、Ｍｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、５０．００％以下とすることが好ましい。
　フラックスにおけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、より好ましくは、４５．００％以下、４０．００％以下、３５．００％以下、３２．００％以下、３０．００％以下、又は２５．００％以下である。
【０１１８】
　本開示に係る被覆アーク溶接棒は、芯線表面に形成されためっきをさらに備えてもよい。
【０１１９】
　本開示に係る被覆アーク溶接棒に含まれる水素量は特に限定されないが、溶接金属の拡散性水素量を低減するためには、被覆アーク溶接棒の全質量に対して１２ｐｐｍ以下であることが好ましい。被覆アーク溶接棒中の水素量は、被覆アーク溶接棒の保管の間に、被覆アーク溶接棒内に水分が侵入することにより増大するおそれがある。従って、溶接棒製造から溶接棒使用までの期間が長い場合は、水分等のＨの供給源が侵入することを防止するために、被覆アーク溶接棒全体を真空包装するか、乾燥した状態で保持できる容器内で被覆アーク溶接棒を保存することが望ましい。
【０１２０】
（溶接棒直径）
　本開示に係る被覆アーク溶接棒の直径は特に限定されないが、例えばφ３．２～φ６．０ｍｍである。なお、一般的な被覆アーク溶接棒の直径はφ２．６～φ７．０ｍｍである。
【０１２１】
（厚さ）
　本開示に係る被覆アーク溶接棒におけるフラックスの平均厚さは、特に限定されない。一般的な被覆アーク溶接棒におけるフラックスの厚さに鑑みて、本開示に係る被覆アーク溶接棒におけるフラックスの平均厚さの上限値を、例えば５．０ｍｍ、４．０ｍｍ、又は３．０ｍｍとしてもよい。また、本開示に係る被覆アーク溶接棒におけるフラックスの平均厚さの下限値を、例えば０．２ｍｍ、０．５ｍｍ、０．８ｍｍ、又は１．０ｍｍとしてもよい。
　なお、フラックスの平均厚さは、任意の５箇所について被覆アーク溶接棒の外径を測定し、その外径から芯線の直径を除いた値の１／２の値を算出し、その算術平均値を平均厚さとした。
　式で表すと、フラックス厚さ＝（（被覆アーク溶接棒の外径の直径）－（芯線の直径））／２となる。
【０１２２】
＜被覆アーク溶接棒の製造方法＞
　次に、本開示に係る被覆アーク溶接棒の製造方法について説明する。
　なお、以下に説明する製造方法は一例であり、本開示に係る被覆アーク溶接棒を製造する方法は、以下の方法に限定されるものではない。
【０１２３】
　本開示に係る被覆アーク溶接棒は、例えば芯線を準備する工程と、芯線にフラックスを塗布する工程と、芯線及びフラックスを焼成する工程と、を経て製造することができる。
【０１２４】
　芯線を準備する工程では、例えば上述された化学成分を有する鋼を溶解し、その後、必要であれば鍛造加工をする。その後、圧延加工を経て、この鋼を棒状に加工する。この棒状の鋼を伸線することで、芯線が得られる。なお、適宜熱処理を行ってもよい。
【０１２５】

次いで、この芯線にフラックスを塗布した後、芯線及びフラックスを焼成する。焼成の条件としては、特に限定されるものでは無いが、例えば焼成温度１５０～４５０℃程度で、焼成時間０．１～３時間程度としてもよい。なお、フラックスには、固着剤（例えば珪酸カリおよび珪酸ソーダの水溶液）を添加してもよい。

【０１２６】

＜溶接継手の製造方法＞

次に、本開示に係る溶接継手の製造方法（溶接方法）について説明する。

本開示に係る溶接継手の製造方法は、上述された本開示に係る被覆アーク溶接棒を用いて、鋼材を溶接する工程を備える。

本開示に係る溶接継手の製造方法にて製造された溶接継手は、高強度及び高靭性を有する。また、本開示に係る溶接継手の製造方法にて製造された溶接継手を有する溶接構造物も、溶接継手において高強度及び高靭性を有する。

【０１２７】

本開示に係る溶接継手の製造方法において、溶接方式は、ガスシールドアーク溶接が好適である。

本開示に係る溶接継手の製造方法において、溶接継手の母材となる鋼材（被溶接材）の種類は特に限定されないが、例えば、板厚２０ｍｍ以上である６％～９％のＮｉを含むＮｉ系低温用鋼板を好適に用いることができる。

【０１２８】

本開示に係る溶接継手の製造方法では、１パスから最終パスのいずれか１つ以上において、本開示に係る被覆アーク溶接棒を用いて鋼材を溶接する工程を備えることがよい。溶接が１パスのみである場合、その１パスにおいて本開示に係る被覆アーク溶接棒が用いられる。

被覆アーク溶接棒の極性は、スパッタ発生量に及ぼす影響が無視できる程度に小さいので、交流および直流のいずれであってもよいが、交流であることが好ましい。また、直流の場合は棒プラスであることが好ましい。

【０１２９】

本開示に係る溶接継手の製造方法における溶接姿勢は特に限定されない。本開示に係る溶接継手の製造方法は、溶接姿勢が下向姿勢、横向姿勢、立向姿勢、及び上向姿勢のいずれであっても、良好な溶接作業性（特に立向溶接性）を発揮することができる。

【０１３０】

本開示に係る溶接継手の製造方法によって得られる溶接継手は、母材となる鋼材と、溶接金属及び溶接熱影響部から構成される溶接部とを備える。本開示に係る溶接継手は、本開示に係る被覆アーク溶接棒を用いて製造されるので、良好なビード形状を有する溶接金属を備える。そのため、本開示に係る溶接継手の製造方法にて製造された溶接継手を有する溶接構造物も、良好なビード形状を有する溶接金属を備える。得られる溶接金属の引張強さは、例えば５９０～１２００ＭＰａの高強度とすることが好ましい。

【実施例】

【０１３１】

次に、本開示例及び比較例により、本開示の実施可能性及び効果についてさらに詳細に説明するが、下記実施例は本開示を限定するものではなく、前・後記の趣旨に徹して設計変更することはいずれも本開示の技術的範囲に含まれるものである。

【０１３２】

（被覆アーク溶接棒の製造）

本開示例及び比較例の被覆アーク溶接棒は、以下に説明する方法により製造した。

まず、表１－Ａ、表１－Ｂに示す化学成分を有する芯線に対し、表２－Ａ、表２－Ｂ、表２－Ｃ及び表２－Ｄに示す化学成分を有するフラックスを塗布し、３００～５００℃の温度範囲内で１～３時間の範囲で焼成することで、被覆アーク溶接棒を試作した。得られた被覆アーク溶接棒の最終の溶接棒径はφ６．０ｍｍ、フラックスの平均厚さは１．０ｍｍであった。これら被覆アーク溶接棒の構成を表１－Ａ、表１－Ｂ、表２－Ａ、表２－Ｂ

、表２－Ｃ及び表２－Ｄに示す。

【０１３３】

表１－Ａ、表１－Ｂ、表２－Ａ、表２－Ｂ、表２－Ｃ及び表２－Ｄに示された、芯線の化学成分の含有量の単位は、芯線全質量に対する質量％である。また、フラックスの化学成分の含有量、酸化物の含有量、弗化物の含有量、金属炭酸塩の含有量、及び鉄粉の含有量の単位は、フラックスの全質量に対する質量％である。表中において「芯線全質量に対する質量％」及び「フラックス全質量に対する質量％」は、共に、「質量％」と略し、「フラックスの化学成分における金属成分」は、「フラックスの化学成分」と略した。

また、表２－Ｃに示された、「ＴｉＯ$_2$」はＴｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計を、「ＳｉＯ$_2$」はＳｉ酸化物のＳｉＯ$_2$換算値の合計を、「ＺｒＯ$_2$」はＺｒ酸化物のＺｒＯ$_2$換算値の合計を、「Ａｌ$_2$Ｏ$_3$」はＡｌ酸化物のＡｌ$_2$Ｏ$_3$換算値の合計を、「ＭｇＯ」はＭｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計を、「ＣａＯ」はＣａ酸化物のＣａＯ換算値の合計を、「Ｎａ$_2$Ｏ」はＮａ酸化物のＮａ$_2$Ｏ換算値の合計を、「Ｋ$_2$Ｏ」はＫ酸化物のＫ$_2$Ｏ換算値の合計を、示す。

表２－Ｄに示された「和Ｘ」は、Ｔｉ酸化物のＴｉＯ$_2$換算値の合計と、Ｓｉ酸化物のＳｉＯ$_2$換算値の合計と、Ｚｒ酸化物のＺｒＯ$_2$換算値の合計と、Ａｌ酸化物のＡｌ$_2$Ｏ$_3$換算値の合計と、Ｍｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計と、Ｃａ酸化物のＣａＯ換算値の合計と、Ｎａ酸化物のＮａ$_2$Ｏ換算値の合計と、Ｋ酸化物のＫ$_2$Ｏ換算値の合計と、ＣａＦ$_2$含有量と、ＣａＣＯ$_3$含有量と、ＢａＣＯ$_3$含有量と、ＭｇＣＯ$_3$含有量と、Ｌｉ$_2$ＣＯ$_3$含有量と、の和を示す。

【０１３４】

【表１－Ａ】

ワイヤ番号	区分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Co
1	本開示例	0.009	0.03	6.0	0.026	0.024	3.0	10.0	4.0				0.10
2	本開示例	0.004	0.05	5.0	0.016	0.027	2.0	10.0	5.0	10.0		0.50	
3	本開示例	0.013	0.05	6.0	0.014	0.011		6.0	10.0	6.0			
4	本開示例	0.005	0.04	9.0	0.005	0.025		15.0	9.0	10.0	0.50		
5	本開示例	0.009	0.05	9.0	0.014	0.015		10.0	10.0	9.0			
6	本開示例	0.135	0.14	18.0	0.020	0.011	1.0	10.0		10.0			0.20
7	本開示例	0.028	0.08	20.0	0.008	0.008	4.0	20.0		9.0		0.01	
8	本開示例	0.034	0.17	10.0	0.017	0.029	4.0	16.0	9.0	6.0			
9	本開示例	0.179	0.11	11.0	0.029	0.014	5.0	13.0	10.0	9.0		0.05	0.01
10	本開示例	0.058	0.13	16.0	0.006	0.024	3.0	19.0	6.0	5.0			
11	本開示例	0.192	0.09	20.0	0.013	0.006		11.0	3.0	5.0	0.01		
12	本開示例	0.148	0.19	15.0	0.012	0.010		16.0		6.0			0.15
13	本開示例	0.106	0.14	14.0	0.023	0.009	4.0	15.0		3.0			
14	本開示例	0.020	0.03	18.0	0.018	0.025	1.0	8.0		2.0			
15	本開示例	0.154	0.03	30.0	0.008	0.015	4.0	20.0	9.0	5.0			
16	本開示例	0.154	0.03	10.0	0.019	0.024		15.0	1.0	10.0			
17	本開示例	0.141	0.05	14.0	0.009	0.028	2.0	15.0	5.0	10.0			
18	本開示例	0.050	0.05	10.0	0.008	0.004		13.0	7.0	3.0	0.01		0.01
19	本開示例	0.050	0.05	10.0	0.008	0.004		13.0	7.0	3.0	0.01		0.01
20	本開示例	0.050	0.15	10.0	0.008	0.004		13.0	7.0	3.0			0.01
21	本開示例	0.151	0.05	18.0	0.028	0.010		17.0	5.0	2.0			
22	本開示例	0.062	0.05	15.0	0.020	0.027		18.0	4.0	10.0			
23	本開示例	0.050	0.15	10.0	0.008	0.004		13.0	7.0	3.0	0.01		0.01
24	本開示例	0.040	0.04	17.0	0.024	0.012	1.0	18.0	10.0	6.0			
25	本開示例	0.152	0.03	10.0	0.006	0.009	1.0	13.0	9.0	3.0			
26	本開示例	0.640	0.05	10.0	0.008	0.004		13.0	7.0	3.0	0.01		0.01
27	本開示例	0.500	0.03	5.0	0.014	0.027		4.0	7.0				
28	本開示例	0.400	0.20	29.0	0.007	0.008		4.0			0.01		
29	本開示例	0.400	0.20	4.5	0.007	0.008		29.0	7.0	3.0	0.01		
30	本開示例	0.200	0.20	3.5	0.007	0.008		15.0	5.0	5.0			
A1	比較例	0.028	0.08	**35.0**	0.008	0.008	4.0	1.0		9.0		0.01	
A2	比較例	0.040	0.10	**1.0**	0.017	0.017	4.0	2.0	0.4	0.1			
A3	比較例	0.070	0.10	25.0	0.021	0.020	4.0	**0**	0.4	0.4			
A4	比較例	0.400	0.03	4.0	0.014	0.027		4.0	4.0				

【０１３５】

【表１－Ｂ】

ワイヤ番号	区分	Pb	Sn	Al	Ti	B	N	O	Mn+Ni	Mn+Ni+Cr	Ni/Mn	fcc割合(%)
1	本開示例			0.04	0.06		0.2500	0.0014	16.0	20.0	1.67	100
2	本開示例			0.03			0.1540	0.0030	15.0	20.0	2.00	99
3	本開示例				0.01		0.0236	0.0026	12.0	22.0	1.00	100
4	本開示例		0.20		0.06			0.0022	24.0	33.0	1.67	99
5	本開示例				0.10			0.0026	19.0	29.0	1.11	98
6	本開示例				0.07		0.1410	0.0015	28.0	28.0	0.56	98
7	本開示例	0.01		0.05	0.04		0.4970	0.0027	40.0	40.0	1.00	99
8	本開示例			0.04	0.01			0.0016	26.0	35.0	1.60	99
9	本開示例		0.01	0.06			0.0144	0.0015	24.0	34.0	1.18	100
10	本開示例							0.0030	35.0	41.0	1.19	99
11	本開示例	0.50				0.0010	0.0458	0.0028	31.0	34.0	0.55	98
12	本開示例					0.0010		0.0017	31.0	31.0	1.07	99
13	本開示例						0.0059	0.0017	29.0	29.0	1.07	98
14	本開示例	0.15						0.0017	26.0	26.0	0.44	100
15	本開示例						0.1790	0.0016	50.0	59.0	0.67	99
16	本開示例		0.15	0.07			0.2430	0.0021	25.0	26.0	1.50	100
17	本開示例			0.09				0.0019	29.0	34.0	1.07	100
18	本開示例					0.0010	0.0150	0.0015	23.0	30.0	1.30	100
19	本開示例					0.0010	0.0150	0.0016	23.0	30.0	1.30	98
20	本開示例						0.0100	0.0023	23.0	30.0	1.30	99
21	本開示例			0.01	0.01			0.0029	35.0	40.0	0.94	98
22	本開示例			0.05	0.03		0.1060	0.0014	33.0	37.0	1.20	100
23	本開示例						0.0150	0.0014	23.0	30.0	1.30	99
24	本開示例			0.04			0.4290	0.0013	35.0	45.0	1.06	99
25	本開示例			0.03	0.04		0.1880	0.0043	23.0	32.0	1.30	98
26	本開示例					0.0010	0.0150	0.0044	23.0	30.0	1.30	99
27	本開示例							0.0013	9.0	16.0	0.80	89
28	本開示例			0.03				0.0015	33.0	33.0	0.14	98
29	本開示例							0.0050	33.5	40.5	6.44	99
30	本開示例						0.0400	0.0016	18.5	23.5	4.29	73
A1	比較例	0.01		0.05	0.04		0.4970	0.0032	36.0	36.0	0.03	98
A2	比較例						0.0110	0.0005	**3.0**	**3.4**	2.00	**0**
A3	比較例						0.0120	0.0041	25.0	25.4	0	97
A4	比較例							0.0015	8.0	**12.0**	1.00	**62**

【０１３６】

【表２－Ａ】

ワイヤ番号	区分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Co	Pb
1	本開示例	0.221	0.37		0.021	0.020			2.9			3.1	0.10	
2	本開示例	0.437			0.012	0.022	6.2		1.4	8.4	1.66			
3	本開示例	0.221	0.37	2.00	0.021	0.020			2.9			3.1	0.10	
4	本開示例	0.026	0.45	20.00	0.004	0.021		22.0	6.9					
5	本開示例	0.123	0.56		0.014	0.013		25.0	8.0		0.76			
6	本開示例	0.025			0.014	0.010				11.0		4.7	0.08	
7	本開示例	0.247			0.006	0.008			25.0			1.2		
8	本開示例	0.063			0.014	0.022		5.0	6.8		3.54	3.4	0.30	
9	本開示例	0.426	0.80	2.00	0.021	0.010		8.8	6.6	7.8	2.89		0.00	
10	本開示例	0.341	0.80	11.32	0.006	0.021	0.1	8.7	4.6	7.7	4.12			
11	本開示例	0.413	0.51		0.012	0.007	7.4		2.3	5.3	4.79			0.28
12	本開示例	0.365	0.25		0.009	0.010	2.4			8.6			0.50	
13	本開示例	0.360	0.35		0.020	0.003	0.4			9.9				
14	本開示例	0.180	0.28		0.014	0.018	0.5			5.5				
15	本開示例	0.418	0.40	22.04	0.006	0.012			5.9	9.6		4.0		
16	本開示例	0.249	0.76	8.07	0.012	0.015			0.6	8.8	5.00			
17	本開示例	0.158	0.28		0.008	0.023	6.3		3.8	8.8		2.8		
18	本開示例	1.875	3.21		0.007	0.006		20.0			0.01			
19	本開示例	1.875	3.21		0.007	0.006		4.5			0.01			
20	本開示例	1.875	3.21		0.007	0.006		4.5			0.01			
21	本開示例	0.063	0.26	20.00	0.021	0.009		15.0	3.3	9.3		0.3		
22	本開示例	0.482		1.00	0.014	0.019		10.0	2.5	5.6	0.86		0.50	
23	本開示例	1.875	2.50		0.007	0.006		4.5						
24	本開示例	0.236	0.24	17.90	0.017	0.009	4.1		6.7	9.1	1.73	4.3		0.30
25	本開示例	0.348	0.39	15.00	0.005	0.008	6.5	9.9	7.1	5.2	5.00	4.2		
26	本開示例	1.900	3.20		0.007	0.006		5.0						
27	本開示例	1.800	3.00		0.007	0.006		4.5			0.01			
28	本開示例	1.900	2.50		0.014	0.018		5.0						
29	本開示例	1.700	2.00		0.007	0.006		4.5						
30	本開示例	0.060			0.014	0.022		5.0						
A1	比較例	0.247			0.006	0.003			25.0			1.2		
A2	比較例	0.087	0.83	0.61	0.006	0.007		0.2	0.4	0.5	0.23	0.3		
A3	比較例	0.103	0.76	0.45	0.026	0.017		0.1	0.03	0.5	0.45	0.3		
A4	比較例	0.087	0.83	0.61	0.006	0.007		0.2	0.4	0.5	0.23	0.3		

【０１３７】

【表２－Ｂ】

ワイヤ番号	区分	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Bi	N	Fe	Mn+Ni
1	本開示例			3.98							0.5400	3.1	0.00
2	本開示例		10.0			1.00					0.2149		0.00
3	本開示例			3.98							0.1242	3.1	2.00
4	本開示例	0.12				0.09					0.2349	4.3	42.00
5	本開示例				2.0		0.060			0.045	0.3785	1.8	25.00
6	本開示例			0.14			0.070		0.50		0.4737		0.00
7	本開示例			2.04			0.060				0.2967	3.3	0.00
8	本開示例			3.23	2.0						0.3529	3.0	5.00
9	本開示例					1.00					2.0000		10.90
10	本開示例									0.043	0.0479		20.02
11	本開示例	0.90			1.0					0.020	0.0250	4.0	0.00
12	本開示例			0.54						0.035	0.0424	0.1	0.00
13	本開示例			4.56		0.10			0.03	0.002	0.0239	3.8	0.00
14	本開示例		4.0			0.09					4.0000		0.00
15	本開示例		5.0		2.0	0.05	0.020				0.0325	5.1	22.04
16	本開示例	0.60	9.0			0.08	0.040				0.0468	1.8	8.07
17	本開示例		3.0	2.60		0.06	0.040	0.0040	1.00		5.0000		0.00
18	本開示例			1.83								4.4	20.00
19	本開示例			1.83								4.4	4.51
20	本開示例			1.05									4.51
21	本開示例		8.0	0.71		0.06	0.030				0.0308	1.4	35.00
22	本開示例		4.0	4.72		0.05	0.030				0.0212	2.1	11.00
23	本開示例			1.00									4.51
24	本開示例		7.0	4.27			0.090	0.0060		0.001	0.0203	4.8	17.90
25	本開示例		7.0	4.63			0.100	0.0100		0.012	0.0120		24.90
26	本開示例											4.4	5.00
27	本開示例			1.00								4.4	4.51
28	本開示例											4.4	5.00
29	本開示例			1.00									4.51
30	本開示例												5.00
A1	比較例			2.04			0.060				0.2967	3.3	0.00
A2	比較例						0.120	0.0070			0.0051		0.84
A3	比較例						0.030	0.0070			0.0122	5.1	0.54
A4	比較例						0.120	0.0070			0.0051		0.84

【０１３８】

【表２－Ｃ】

ワイヤ番号	区分	酸化物								弗化物					
		TiO_2	SiO_2	ZrO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	CaF_2	K_2SiF_6	K_2ZrF_6	NaF	Na_3AlF_6	MgF_2
1	本開示例		4.34	0.43		0.46									
2	本開示例	7.19	21.09												
3	本開示例		4.34	0.43		0.46									
4	本開示例	7.50	4.58								28.03				
5	本開示例	5.49		0.15				2.52	0.02				6.59	12.00	
6	本開示例	6.64					19.15					17.94			
7	本開示例	7.15	24.59												
8	本開示例	7.06	6.69			4.00	15.75		1.08		6.97				
9	本開示例	5.07												22.95	
10	本開示例		7.38	0.41								10.08			
11	本開示例		6.37					2.61		2.00				8.27	11.63
12	本開示例	2.00	4.00		0.58			1.50	1.50	15.00					
13	本開示例	4.57	6.61			3.57		0.04		23.38					
14	本開示例	5.80	0.35	0.74				1.50		13.00	8.87				
15	本開示例	3.95	0.39			1.37									27.46
16	本開示例	7.75	0.48				6.22		1.87				22.33		
17	本開示例	3.13	0.52			0.78						17.50			
18	本開示例	1.60	5.70	0.01	2.00	0.16	0.11	1.54	1.92	12.13					24.32
19	本開示例	1.60	9.11	0.01	2.00	0.16	0.11	1.54	1.92	12.13					24.32
20	本開示例	7.85	5.82		0.91			1.34	0.95	17.10					
21	本開示例	4.95	12.00			0.01							5.00		
22	本開示例	5.68			0.43	4.02	6.67		1.33				4.33		
23	本開示例	7.80	5.59		0.89			1.42	0.98	16.87					
24	本開示例	7.85	0.57				5.25								
25	本開示例	3.90				2.43				6.97					
26	本開示例	1.60	9.11	0.01	2.00	0.16	0.11	1.54	1.92	12.13					27.66
27	本開示例	5.80	0.35	0.74				1.50		13.00	8.87				
28	本開示例	5.49		0.15				2.52	0.02				6.59	12.00	
29	本開示例	7.80	5.59		0.89			1.42	0.98	16.87					
30	本開示例	3.13	0.52			0.78						3.00			
A1	比較例	7.15	24.59												
A2	比較例	3.50													
A3	比較例	6.49													
A4	比較例	7.75	0.48				6.22		1.87				22.33		

【０１３９】

【表２－Ｄ】

ワイヤ番号	区分	金属炭酸塩					和X
		$CaCO_3$	$BaCO_3$	$MgCO_3$	Li_2CO_3	炭酸塩の合計	
1	本開示例	72.41	8.00			80.41	85.64
2	本開示例	42.35				42.35	70.63
3	本開示例	70.82	8.00			78.82	84.05
4	本開示例	5.72				5.72	17.80
5	本開示例	10.47	8.00	8.00	8.00	34.47	42.66
6	本開示例	39.26				39.26	65.05
7	本開示例	30.36			5.74	36.10	67.84
8	本開示例	22.73		8.00		30.73	65.31
9	本開示例	39.67				39.67	44.74
10	本開示例	28.32	8.00	8.00		44.32	52.11
11	本開示例	28.56		13.63		42.19	53.17
12	本開示例	53.77			8.80	62.57	87.15
13	本開示例	42.28				42.28	80.45
14	本開示例	49.42	5.74			55.16	76.55
15	本開示例	12.25				12.25	17.96
16	本開示例	26.26				26.26	42.58
17	本開示例	38.81			5.41	44.22	48.65
18	本開示例	11.25		7.94		19.19	44.35
19	本開示例	23.33		7.94		31.27	59.84
20	本開示例	47.20				47.20	81.18
21	本開示例	11.59			7.93	19.52	36.48
22	本開示例	43.68	2.00			45.68	63.81
23	本開示例	47.12				47.12	80.67
24	本開示例	25.54				25.54	39.21
25	本開示例	3.61	11.92		5.80	21.33	34.63
26	本開示例	17.26		12.00		29.26	57.83
27	本開示例	49.28	5.74			55.02	76.41
28	本開示例	35.39	8.00	8.00	8.00	59.39	67.58
29	本開示例	47.12				47.12	80.67
30	本開示例	25.54			5.41	30.95	35.38
A1	比較例	30.36			5.74	36.10	67.84
A2	比較例	93.23				93.23	96.73
A3	比較例	85.69				85.69	92.18
A4	比較例	58.08				58.08	74.40

【０１４０】

表１－Ａ、表１－Ｂに示された芯線の残部（すなわち、表に示された各成分以外の成分）、及び表２－Ａ、表２－Ｂ、表２－Ｃ及び表２－Ｄに示された被覆アーク溶接棒の残部（すなわち、表に示された各成分以外の成分）は、鉄及び不純物である。

なお、表１－Ａ、表１－Ｂにおいては、本開示で規定される範囲から外れる数値に下線を付してある。

また、表１－Ａ、表１－Ｂ、表２－Ａ、表２－Ｂ、表２－Ｃ及び表２－Ｄにおいて、化学成分や化合物などの含有量に係る表中の空欄は、その化学成分や化合物などの含有量が有効桁数未満であることを意味する。これらの化学成分や化合物などが有効桁数未満の含有量で不可避的に混入されるか生成することもある。

【０１４１】

［評価］

本開示例及び比較例の被覆アーク溶接棒を用いて、立向上進溶接で、ガスシールドアーク溶接することにより評価を行った。具体的には、以下に説明する方法により評価された。

溶接する鋼板として板厚が５０ｍｍである９％Ｎｉ鋼（ＪＩＳ　Ｇ　３１２７：２０１３ＳＬ９Ｎ５９０に準じた鋼板）を用いた。また、評価の際に、溶接電流は全て交流とした。

なお、評価する際の溶接条件は、表３に記載の条件とした。

【０１４２】

【表３】

電流	電圧	速度	入熱
A	V	mm/min	kJ/mm
140	22	160	1.2

【０１４３】

（ヒューム量の評価）

本開示例及び比較例の被覆アーク溶接棒を用いてガスシールドアーク溶接する際のヒューム量を評価した。

溶接により発生するヒューム量の測定は、ＪＩＳ　Ｚ３９３０：２０１３（アーク溶接のヒューム発生量測定方法）に準拠したハイボリウムエアサンプライヤーによる全量捕集方法によって実施した。ヒューム量が１０００ｍｇ／ｍｉｎ以下となる被覆アーク溶接棒を、ヒューム量に関し「合格」としヒューム量が１０００ｍｇ／ｍｉｎ超となる場合を「不合格」とした。

【０１４４】

（低温靭性の評価）

本開示例及び比較例の被覆アーク溶接棒を用いて、鋼板をガスシールドアーク溶接し、溶着金属の板厚方向中心から衝撃試験片（ノッチ深さ２ｍｍのＶノッチ試験片）を３本採取した。

３本の衝撃試験片に対して、－１９６℃でＪＩＳ　Ｚ２２４２：２００５に準拠したシャルピー衝撃試験を実施した。

そして、３本の衝撃試験片の、－１９６℃でのシャルピー吸収エネルギー平均値が３４Ｊ以上である場合を「優」とし、２７Ｊ以上３４Ｊ未満である場合を「合格」とし、２７Ｊ未満である場合を「不合格」とした。

【０１４５】

（総合評価）

ヒューム量の評価及び低温靭性の評価が、いずれも「優」または「合格」である場合を「合格」とし、いずれかが「不合格」である場合を「不合格」と評価した。

【０１４６】

【表４】

ワイヤ番号	区分	ヒューム量	低温靭性	総合判定
1	本開示例	合格	優	合格
2	本開示例	合格	優	合格
3	本開示例	合格	優	合格
4	本開示例	合格	優	合格
5	本開示例	合格	優	合格
6	本開示例	合格	合格	合格
7	本開示例	合格	優	合格
8	本開示例	合格	優	合格
9	本開示例	合格	優	合格
10	本開示例	合格	優	合格
11	本開示例	合格	合格	合格
12	本開示例	合格	優	合格
13	本開示例	合格	優	合格
14	本開示例	合格	合格	合格
15	本開示例	合格	合格	合格
16	本開示例	合格	優	合格
17	本開示例	合格	優	合格
18	本開示例	合格	優	合格
19	本開示例	合格	優	合格
20	本開示例	合格	優	合格
21	本開示例	合格	合格	合格
22	本開示例	合格	優	合格
23	本開示例	合格	優	合格
24	本開示例	合格	優	合格
25	本開示例	合格	優	合格
26	本開示例	合格	優	合格
27	本開示例	合格	合格	合格
28	本開示例	合格	合格	合格
29	本開示例	合格	優	合格
30	本開示例	合格	優	合格
A1	比較例	不合格	不合格	不合格
A2	比較例	不合格	不合格	不合格
A3	比較例	不合格	不合格	不合格
A4	比較例	不合格	不合格	不合格

【０１４７】

本開示例の被覆アーク溶接棒は、ヒューム量が少なく、得られる溶接金属低温靭性に優れることがわかる。

一方、比較例は、本開示で規定する要件のいずれかを満たしていなかったので、１つ以上の評価項目において不合格となった。

【要約】
鋼製の芯線と芯線を被覆するフラックスとを備え、芯線の化学成分が、Ｃ：０～０．６５０％、Ｓｉ：０．０３～０．５０％、Ｍｎ：２．１～３０．０％、Ｐ：０～０．０５０％、Ｓ：０～０．０５０％、Ｃｕ：０～５．０％、Ｎｉ：１．０～３０．０％、Ｃｒ：０～１０．０％、Ｍｏ：０～１０．０％、Ｎｂ：０～１．００％、Ｖ：０～１．００％、Ｃｏ：０～１．００％、Ｐｂ：０～１．００％、Ｓｎ：０～１．００％、Ａｌ：０～０．１０％、Ｔｉ：０～０．１０％、Ｂ：０～０．１０００％、Ｎ：０～０．５０００％、残部：Ｆｅ及び不純物であり、（Ｍｎ＋Ｎｉ）が５．０％以上であり、（Ｍｎ＋Ｎｉ＋Ｃｒ）が１５．０％以上であり、芯線におけるｆｃｃ割合が７０％以上である被覆アーク溶接棒。

フロントページの続き

(56)参考文献　　中国特許出願公開第１１３５４７２５４（ＣＮ，Ａ）
特開昭６０－３７２９０（ＪＰ，Ａ）
特開平２－２０５２９３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２３Ｋ　３５／００－３５／４０
Ｃ２２Ｃ　３８／００－３８／６０