

明 細 書

発明の名称： ガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ

技術分野

[0001] 本発明は、ガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤに係り、とくに、極低温環境下で使用される高Mn鋼材溶接用ソリッドワイヤに関する。

背景技術

[0002] 近年、環境に対する規制が厳しくなっている。液化天然ガス（以下、LNGともいう）は、硫黄を含まないため、硫化酸化物等の大気汚染物質を発生させないクリーンな燃料と言われ、その需要が増加している。LNGの輸送または保管のために、LNGを輸送または貯蔵する容器（タンク）は、LNGの液化温度である-162℃以下の温度で、優れた極低温衝撃靱性を保持することが求められている。

[0003] しかし、優れた極低温衝撃靱性を保持することの必要性から、容器（タンク）等の材料用として、従来、アルミニウム合金、9%Ni鋼、オーステナイト系ステンレス鋼等が、用いられてきた。

[0004] しかし、アルミニウム合金は、引張強さが低いため、構造物の板厚を大きく設計する必要があり、また溶接性が悪いという問題がある。また、9%Ni鋼は、溶接材料として高価なNi基材料を用いることが必要なため、経済的に不利となる。また、オーステナイト系ステンレス鋼は、高価であり、母材強度も低いという問題がある。

[0005] このような問題から、LNGを輸送または貯蔵する容器（タンク）用の材料として、最近では、質量%で、Mnを10～35%程度含有する高Mn含有鋼の適用が検討されている。高Mn鋼は、極低温においても、オーステナイト相であり、脆性破壊が発生せず、またオーステナイト系ステンレス鋼と比較して、高い強度を有するという特徴がある。そこで、このような高Mn含有鋼材を安定して溶接できる溶接材料の開発が要望されていた。

[0006] このような要望に対して、例えば特許文献1には、「極低温衝撃靱性に優

れた高強度溶接継手部及びこのためのフラックスコールドアーク溶接用ワイヤ」が提案されている。特許文献1に記載されたフラックスコールドアーク溶接用ワイヤは、重量%で、C：0.15～0.8%、Si：0.2～1.2%、Mn：15～34%、Cr：6%以下、Mo：1.5～4%、S：0.02%以下、P：0.02%以下、B：0.01%以下、Ti：0.09～0.5%、N：0.001～0.3%、TiO₂：4～15%、SiO₂、ZrO₂及びAl₂O₃のうちから選択された1種以上の合計：0.01～9%、K、Na及びLiのうちから選択された1種以上の合計：0.5～1.7%、FとCaのうち1種以上：0.2～1.5%、残部Fe及びその他の不可避免の不純物を含む組成を有するワイヤである。特許文献1に記載されたフラックスコールドアーク溶接用ワイヤを用いて溶接すれば、試験温度：-196℃におけるシャルピー衝撃試験吸収エネルギーが28J以上の優れた低温靱性および、常温引張強さが400MPa以上の高強度を有する溶接継手部が効果的に得られ、また、ワイヤ組成をMo：1.5%以上に調整しており、優れた耐高温割れ性を有する溶接継手部を確保できるとしている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特表2017-502842号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、本発明者らの検討によれば、特許文献1に記載された技術では、溶接時にヒュームの発生量が多くなり、溶接者がヒューム量の多い環境下に晒されるという問題があった。

[0009] 本発明は、上記した従来技術の問題を解決し、溶接時にはヒューム発生量が少なく、かつ極低温環境下で使用される高Mn鋼材用の溶接材料として好適な、高強度と優れた極低温靱性を兼備した溶接継手部を作製できる、ガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤを提供することを目的とする。

[0010] なお、ここでいう「溶接時のヒューム発生量が少ない」とは、JIS Z 3930

ー2013に準拠して、シールドガス組成：80%Ar+20%CO₂、溶接電流：250Aでガスメタルアーク溶接を行ったときのヒューム発生量が1200mg/min以下である場合をいうものとする。

[0011] また、ここでいう「高強度」とは、JIS Z 3111の規定に準拠して作製した溶着金属の常温降伏強さ（0.2%耐力）が400MPa以上である場合をいい、また、「優れた極低温靱性」とは、JIS Z 3111の規定に準拠して作製した溶着金属の、試験温度：-196℃でのシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー vE_{-196} が28J以上である場合をいうものとする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、上記した目的を達成するために、まず、ガスメタルアーク溶接時のヒューム発生量に影響する要因について、鋭意検討した。その結果、ヒューム発生量を著しく低減するためには、溶接材料を、フラックスコアードワイヤではなく、ソリッドワイヤとすることが有効であることに思い至った。しかし、フラックスコアードワイヤよりも伸線加工時の加工量が多いソリッドワイヤでは、とくに高Mn含有組成の場合に伸線加工時に割れや断線が発生しやすいという問題があった。本発明者らは、このような問題に対して、鋼中で形成される窒化ホウ素および炭化物を抑制することで伸線加工が可能となることを知見した。このような検討結果から、ソリッドワイヤの組成を、下記の範囲内に、とくに、Cを0.2～0.8%で、Siを0.15～0.9%に調整し、さらにMnを17.0～28.0%、Niを0.01～10.0%、Crを0.4～4.0%、Moを0.01～3.5%の特定範囲に調整し、さらに不純物であるBを0.0010%未満、炭化物形成元素であるTi、Nb、Vを0.04%以下に低減することにより、伸線加工時の割れ等の欠陥発生がなくソリッドワイヤの製造性に優れ、さらに溶接時に、ヒューム発生量が少なく、しかも、常温降伏強さ（0.2%耐力）が400MPa以上の高強度で、試験温度：-196℃でのシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー vE_{-196} が28J以上となる、高強度で極低温衝撃靱性に優れた溶接継手部を製造できることを、新規に知見した。

[0013] 本発明は、かかる知見に基づき、さらに検討を加えて完成されたものであ

り、本発明の要旨は、次のとおりである。

(1) 質量%で、

C : 0.2~0.8%、	Si : 0.15~0.90%、
Mn : 17.0~28.0%、	P : 0.03%以下、
S : 0.03%以下、	Ni : 0.01~10.00%、
Cr : 0.4~4.0%、	Mo : 0.01~3.50%、
B : 0.0010%未満、	N : 0.12%以下

を含み、残部Feおよび不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とするガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。

[0014] (2) 前記(1)において、前記組成に加えてさらに、質量%で、V : 0.04%以下、Ti : 0.04%以下、およびNb : 0.04%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することを特徴とするガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。

[0015] (3) 前記(1)または(2)において、前記組成に加えてさらに、質量%で、Cu : 1.0%以下、Al : 0.1%以下、Ca : 0.01%以下およびREM : 0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することを特徴とするガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、ワイヤ製造性に優れ、ガスメタルアーク溶接時にヒューム発生量を顕著に抑制でき、さらに、高Mn含有鋼材の溶接材料として、高強度でかつ極低温靱性に優れた溶接継手を容易に製造できる、ガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤを提供でき、産業上格段の効果を奏する。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明のソリッドワイヤは、高Mn含有鋼材のガスメタルアーク溶接用として好適な、ガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤである。本発明ソリッドワイヤは、高Mn含有鋼材同士をヒューム発生量を少なくして溶接でき、かつ、JIS Z 3111に準拠して作製した溶着金属が、常温における0.2%耐力で400MPa以上の高強度で、試験温度：-196℃でのシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー

ギーが28 J以上の極低温靱性に優れた溶着金属となり、高強度で極低温靱性に優れた溶接継手部を作製できる溶接材料である。

[0018] 本発明ソリッドワイヤは、基本組成として、質量%で、C : 0.2~0.8%、Si : 0.15~0.90%、Mn : 17.0~28.0%、P : 0.03%以下、S : 0.03%以下、Ni : 0.01~10.00%、Cr : 0.4~4.0%、Mo : 0.01~3.50%、B : 0.0010%未満、N : 0.12%以下を含み、残部Feおよび不可避免的不純物からなる組成を有する。

まず、組成の限定理由について説明する。なお、以下、組成における「質量%」は、単に「%」で記す。

[0019] C : 0.2~0.8%

Cは、固溶強化により、溶接金属の強度を上昇させる作用を有する元素であり、また、Cは、オーステナイト相を安定化させ、溶接金属の極低温衝撃靱性を向上させる。このような効果を得るためには、0.2%以上の含有を必要とする。しかし、0.8%を超えて含有すると、炭化物が析出し、極低温靱性が低下し、さらに、溶接時の高温割れが生じやすくなる。そのため、Cは0.2~0.8%の範囲に限定した。なお、好ましくは、0.4~0.6%である。

[0020] Si : 0.15~0.90%

Siは、脱酸剤として作用し、Mnの歩留りを高めるとともに、溶融金属の粘性を高め、ビード形状を安定的に保持し、スパッタの発生を低減する効果がある。そのような効果を得るためには、0.15%以上の含有を必要とする。しかし、0.90%を超えて含有すると、溶接金属の極低温靱性を低下させる。また、Siは、凝固時に偏析し、凝固セル界面に液相を生成して、耐高温割れ性を低下させる。そのため、Siは0.15~0.90%の範囲に限定した。なお、好ましくは0.2~0.7%である。

[0021] Mn : 17.0~28.0%

Mnは、安価に、オーステナイト相を安定化する元素であり、本発明では17.0%以上の含有を必要とする。Mnが17.0%未満では、溶接金属中にフェライト相が生成し、極低温での靱性が著しく低下する。一方、Mnが28.0%を超えると、凝固時に過度のMn偏析が発生し、高温割れを誘発する。そのため、Mnは1

7.0~28.0%の範囲に制限した。なお、好ましくは18.0~26.0%である。

[0022] P : 0.03%以下

Pは、結晶粒界に偏析し、高温割れを誘発する元素であり、本発明では、できるだけ低減することが好ましいが、0.03%以下であれば、許容できる。そのため、Pは0.03%以下に限定した。なお、過度の低減は、精練コストの高騰を招く。そのため、Pは0.003%以上に調整することが好ましい。

[0023] S : 0.03%以下

Sは、溶接金属中では、硫化物系介在物MnSとして存在する。MnSは、破壊の発生起点となるため、極低温靱性を低下させる。そのため、Sは0.03%以下に限定した。なお、過度の低減は、精練コストの高騰を招く。そのため、Sは0.001%以上に調整することが好ましい。

[0024] Ni : 0.01~10.00%

Niは、オーステナイト粒界を強化する元素であり、粒界に偏析し、極低温衝撃靱性を向上させる。このような効果を得るためには、0.01%以上の含有を必要とする。また、Niは、オーステナイト相を安定化する効果もあるため、さらに含有量を増加すれば、オーステナイト相を安定化させて、溶接金属の極低温衝撃靱性を向上させる。しかし、Niは高価な元素であり、10.00%を超える含有は、経済的に不利となる。そのため、Niは0.01~10.00%に限定した。

[0025] Cr : 0.4~4.0%

Crは、極低温ではオーステナイト相を安定化させる元素として働き、溶接金属の極低温衝撃靱性を向上させる。また、Crは、溶接金属の強度を向上させる作用も有する。また、Crは、溶融金属の液相線を高めて、高温割れの発生を抑制するのに有効に作用する。さらに、Crは、溶接金属の耐食性を高めるのにも有効に作用する。このような効果を得るためには0.4%以上の含有を必要とする。Crが0.4%未満では、上記した効果を確保できない。一方、4.0%を超えて含有すると、Cr炭化物が生成し、極低温靱性の低下を招く。またさらに、炭化物の生成により、ワイヤ伸線時の加工性が低下する。そのため

、Crは0.4～4.0%の範囲に限定した。なお、好ましくは、0.8～3.0%である。

[0026] Mo : 0.01%～3.50%

Moは、オーステナイト粒界を強化する元素であり、粒界に偏析し、溶接金属の強度を向上させる。このような効果は0.01%以上の含有で顕著となる。なお、0.01%を超える含有では、固溶強化により溶接金属の強度を向上させる作用も有する。一方、3.50%を超えて含有すると、炭化物として析出し、熱間加工性が低下し、また、ワイヤの伸線時に割れを誘発させるなど、ワイヤの製造性が低下する。そのため、Moは0.01～3.50%の範囲に限定した。

[0027] B : 0.0010%未満

不純物として鋼中に混入したBは、オーステナイト粒界に偏析する。Bが0.0010%以上混入した場合は、オーステナイト粒界で窒化ホウ素を形成し、粒界強度を低下させる。この粒界強度の低下によって、ワイヤの伸線加工時に、オーステナイト粒界が破壊発生起点となり断線を生じさせ、伸線加工性を低下させ、ワイヤの製造性を低下させる。この窒化ホウ素の形成は、Bを0.0010%未満に制限することで抑制できるため、Bは0.0010%未満に制限した。なお、好ましくは0.0009%以下であり、より好ましくは0.0008%以下である。なお、過度の低減は、精練コストの高騰を招く。そのため、Bは0.0001%以上に調整することが好ましい。

[0028] N : 0.12%以下

Nは、不可避免的に混入する元素であるが、Cと同様に、溶接金属の強度向上に有効に寄与するとともに、オーステナイト相を安定化し、極低温靱性を安定的に向上させる元素である。このような効果は、0.003%以上の含有で顕著となるため、0.003%以上含有することが望ましい。しかし、0.12%を超えて含有すると、窒化物を形成し、低温靱性が低下する。そのため、Nは0.12%以下に限定した。

[0029] 本発明ソリッドワイヤは、上記した成分が基本の成分であり、本発明では、上記した基本組成に加えてさらに、選択成分として必要に応じて、V : 0.04

%以下、Ti : 0.04%以下、およびNb : 0.04%以下のうちから選ばれた1種または2種以上、および/または、Cu : 1.0%以下、Al : 0.1%以下、Ca : 0.01%以下およびREM : 0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を選択して含有できる。

V : 0.04%以下、Ti : 0.04%以下、およびNb : 0.04%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

V、Ti、Nbはいずれも、炭化物の形成を促進し、溶接金属の強度向上に寄与する元素であり、必要に応じて選択して1種または2種以上を含有できる。

[0030] V : 0.04%以下

Vは、炭化物形成元素であり、微細な炭化物を析出させて、溶接金属の強度向上に寄与する。このような効果を得るためには0.001%以上含有することが望ましいが、しかし、0.04%を超えて含有すると、炭化物が粗大化して、ソリッドワイヤの伸線加工時に割れの発生起点となり、伸線加工性を低下させ、ワイヤの製造性を低下させる。そのため、含有する場合には、Vは0.04%以下に限定した。

[0031] Ti : 0.04%以下

また、Tiは、炭化物形成元素であり、微細な炭化物を析出させて、溶接金属の強度向上に寄与する。また、Tiは、溶接金属の凝固セル界面に炭化物を析出させて、高温割れの発生抑制に寄与する。このような効果を得るためには0.001%以上含有することが望ましい。しかし、Ti : 0.04%を超えて含有すると、炭化物が粗大化して、ソリッドワイヤの伸線加工時に割れの発生起点となり、伸線加工性を低下させ、ワイヤの製造性を低下させる。そのため、含有する場合には、Tiは0.04%以下に限定した。

[0032] Nb : 0.04%以下

また、Nbは、炭化物形成元素であり、炭化物を析出させて、溶接金属の強度向上に寄与する元素である。また、Nbは、溶接金属の凝固セル界面に炭化物を析出させて、高温割れの発生抑制に寄与する。このような効果を得るためには0.001%以上含有することが望ましい。しかし、Nbが0.04%を超えると

、炭化物が粗大化して、ソリッドワイヤの伸線加工時に割れの発生起点となり、伸線加工性を低下させ、ワイヤの製造性を低下させる。そのため、含有する場合には、Nbは0.04%以下に限定した。

[0033] Cu : 1.0%以下、Al : 0.1%以下、Ca : 0.01%以下およびREM : 0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種以上

Cuはオーステナイト安定化に寄与する元素であり、Alは溶接作業性を向上させる元素であり、Ca、REMは加工性向上に寄与する元素であり、必要に応じて選択して1種または2種以上を含有できる。

Cu : 1.0%以下

Cuは、オーステナイト相を安定化する元素であり、極低温でもオーステナイト相を安定化させて、溶接金属の極低温衝撃靱性を向上させる。このような効果を得るためには、0.01%以上含有することが望ましい。しかし、1.0%を超えて多量に含有すると、熱間延性が低下し、ワイヤの製造性が低下する。そのため、含有する場合には、Cuは1.0%以下に限定した。

[0034] Al : 0.1%以下

Alは、脱酸剤として作用し、溶融金属の粘性を高め、ビード形状を安定的に保持し、スパッタの発生を低減する重要な作用を有する。また、Alは、溶融金属の液相線温度を高め、溶接金属の高温割れ発生の抑制に寄与する。このような効果は、0.005%以上の含有で顕著となるため、0.005%以上含有することが望ましい。しかし、0.1%を超えて含有すると、溶融金属の粘性が高くなりすぎて、逆に、スパッタの増加や、ビードが広がらず融合不良などの欠陥が増加する。そのため、含有する場合には、Alは0.1%以下の範囲に限定した。なお、好ましくは0.005~0.06%である。

[0035] Ca : 0.01%以下

Caは、溶融金属中でSと結合し、高融点の硫化物CaSを形成する。CaSは、MnSよりも高融点であるため、ソリッドワイヤの熱間加工時に圧延方向に進展せずに球形を維持し、ソリッドワイヤの加工性向上に有利に働く。このような効果は0.001%以上の含有で顕著となる。一方、0.01%を超えて含有すると、

溶接時にアークに乱れが生じ、安定な溶接が困難となる。そのため、含有する場合には、Caは0.01%以下に限定した。

[0036] REM : 0.02%以下

REMは、強力な脱酸剤であり、溶接金属中でREM酸化物の形態で存在する。REM酸化物は凝固時の核生成サイトとなることで、結晶粒を微細化し、溶接金属の強度の向上に寄与する。このような効果は0.001%以上の含有で顕著となる。しかし、0.02%を超えて含有すると、アークの安定性が低下する。そのため、含有する場合には、REMは0.02%以下に限定した。

[0037] 上記した成分以外の残部は、Feおよび不可避免的不純物からなる。

[0038] つぎに、本発明ソリッドワイヤの製造方法について説明する。

本発明ソリッドワイヤの製造は、上記した組成を有する溶鋼を用いること、および焼鈍温度を900～1200℃とする以外は、とくにその製造方法を限定する必要はなく、常用の溶接用ソリッドワイヤの製造方法がいずれも適用できる。すなわち、上記した組成を有する溶鋼を、電気炉、真空溶解炉等の常用の溶製炉で溶製し、所定形状の鋳型等に鋳造する鋳造工程と、ついで、得られた鋼塊を、所定温度に加熱する加熱工程と、加熱された鋼塊に、熱間圧延を施し、所定形状の鋼素材（棒状）とする熱延工程と、を順次行い、ついで、得られた鋼素材（棒状）を複数回の冷間圧延（冷間伸線加工）と必要に応じて焼鈍を施して、所望寸法のワイヤとする冷延工程を行う、ことが好ましい。

以下、実施例に基づき、さらに本発明について説明する。

実施例

[0039] 表1に示す組成の溶鋼を、真空溶解炉で溶製し、鋳造して鋼塊1000kgとした。得られた鋼塊を、1200℃に加熱したのち、熱間圧延と、その後の冷間圧延とにより、1.2mmφのガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤとした。なお、ワイヤ製造に際しては、圧延荷重（伸線荷重）の測定、割れの観察、ワイヤ断面の観察等を行って、各ソリッドワイヤの製造性を評価した。圧延荷重（伸線荷重）が高く、圧延（伸線）加工が不可能であると判断された場合や

、割れの発生が認められる場合や、発生した割れに起因して、それ以上工程を進めることができなくなる場合等を「×」と評価した。それ以外は、「○」と評価した。

[0040] また、表2に示すワイヤ組成となるように、金属粉末およびフラックスの成分を調整したフラックスコアードワイヤを作製し、比較例とした。なお、外皮としては、質量%で0.1%C-0.2%Si-0.5%Mn-残部Feからなる組成を有する薄鋼板（板厚0.5mm）を用いた。成分を調整した金属粉末およびフラックスを上記した外皮で封入し、直径1.2mmまで伸線した。なお表2に示す成分は、外皮、金属粉末およびフラックスの合計値である。

[0041] まず、表1および表2に示す組成の、得られたソリッドワイヤまたはフラックスコアードワイヤを溶接材料として、JIS Z 3390の規定に準拠して、溶接ヒューム捕集装置内で、ガスメタルアーク溶接し、発生したヒュームをろ過材（ガラス繊維製）で捕集し、ヒューム発生量（mg/min）を測定した。その際の溶接条件は、電流：250A、電圧：34V、溶接速度：30cm/min、シールドガス：80%Ar+20%CO₂（流量：20L/min）とした。

[0042] また、これとは別に、JIS Z 3111に準拠して、試験板として、極低温用高Mn鋼板（板厚：12mm）を用意し突き合わせて、45° V開先を形成し、得られたソリッドワイヤを溶接材料として、ガスメタルアーク溶接を行って、該開先内に溶着金属を得た。なお、試験板として使用した鋼板は、質量%で、0.5%C-0.4%Si-25%Mn-3%Cr-残部Feからなる組成を有する極低温用高Mn鋼板である。

[0043] 溶接は、表1および表2に示す組成の各ソリッドワイヤ（直径1.2mm）またはフラックスコアードワイヤ（直径1.2mm）を用いて、予熱なし、下向き姿勢で、電流：180～330A（DCEP）、電圧：24～33V、溶接速度：30cm/minで、パス間：100～150℃、シールドガス：80%Ar+20%CO₂、とからなる条件で、実施した。

[0044] 溶接後、溶接金属を光学顕微鏡で観察し、溶接割れの有無を判定した。溶接割れは、高温割れであり、割れ発生が認められる場合は耐高温割れ性が低

下しているとして「×」と評価した。割れ発生が認められない場合は、耐高温割れ性に優れるとして「○」と評価した。

[0045] ビード外観については、目視によって観察し、ビード外観の判定を実施した。アンダーカットやオーバーラップ、ピットが認められる場合は溶接ビード外観が不良として「×」と評価した。これらが認められない場合は、ビード外観が良好として「○」と評価した。

[0046] 得られた溶着金属から、JIS Z 3111の規定に準拠して、溶着金属の引張試験片（平行部径6mmφ）、および溶着金属のシャルピー衝撃試験片（Vノッチ）を採取し、引張試験、衝撃試験を実施した。

[0047] 引張試験は、室温で、各3本実施し、得られた値（0.2%耐力）の平均値を当該ソリッドワイヤを用いた溶着金属の引張特性とした。また、シャルピー衝撃試験は、各3本実施し、試験温度：-196℃における吸収エネルギー vE_{-196} を求め、その平均値を当該ソリッドワイヤを用いた溶着金属の極低温衝撃靱性とした。

得られた結果を表3に示す。

[0048]

【表1】

例No.	化 学 成 分 (質量%)											備 考
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	N	V,Ti,Nb	
A	0.59	0.37	27.0	0.012	0.021	2.46	0.5	1.51	0.0009	0.020	—	適合例
B	0.65	0.58	18.2	0.026	0.016	0.05	3.7	1.25	0.0007	0.100	—	適合例
C	0.28	0.42	23.4	0.005	0.024	6.91	2.4	0.01	0.0006	0.081	—	適合例
D	0.31	0.26	18.2	0.017	0.028	2.12	0.8	2.13	0.0004	0.004	—	適合例
E	0.43	0.41	20.4	0.021	0.013	4.17	1.4	1.54	0.0006	0.013	V:0.02,Ti:0.03	適合例
F	0.71	0.72	27.1	0.016	0.008	7.12	2.7	0.05	0.0008	0.112	Nb:0.02	適合例
G	0.39	0.21	24.2	0.013	0.015	1.28	0.8	2.81	0.0009	0.050	—	適合例
H	0.75	0.48	18.2	0.017	0.027	4.81	1.1	3.20	0.0005	0.006	—	適合例
I	0.51	0.17	17.1	0.025	0.008	8.77	1.2	1.84	0.0004	0.005	—	適合例
J	0.27	0.82	23.8	0.016	0.024	0.02	1.6	3.05	0.0003	0.008	—	適合例
K	0.36	0.37	24.8	0.009	0.017	2.31	0.9	1.51	0.0008	0.011	Ti:0.02	適合例
L	0.45	0.75	21.6	0.016	0.016	3.60	1.1	0.12	0.0007	0.012	Ti:0.01,Nb:0.04	適合例
M	0.48	0.44	17.2	0.023	0.009	6.25	3.5	0.32	0.0006	0.090	V:0.01	適合例
N	0.14	0.30	18.1	0.014	0.010	1.41	0.6	0.04	0.0008	0.080	Nb:0.01	比較例
O	0.25	0.53	20.5	0.016	0.019	1.27	0.3	0.05	0.0003	0.005	V:0.04,Ti:0.02	比較例
P	0.37	0.46	40.3	0.018	0.027	0.04	3.5	0.60	0.0005	0.120	—	比較例
Q	0.46	0.28	24.6	0.013	0.024	0.08	3.7	2.78	0.0007	0.090	Ti:0.05	比較例
R	0.51	0.38	19.2	0.021	0.015	2.51	1.2	1.54	0.0011	0.080	—	比較例
S	0.39	0.72	24.6	0.007	0.021	6.13	4.9	0.82	0.0004	0.004	V:0.02,Nb:0.06	比較例
T	0.42	0.27	12.8	0.012	0.008	3.14	1.4	1.24	0.0005	0.050	V:0.01	比較例
U	0.39	0.62	26.2	0.026	0.021	<0.001	2.8	<0.001	0.0007	0.042	—	比較例
V	0.53	1.50	18.8	0.025	0.013	4.72	1.5	0.36	0.0003	0.080	Ti:0.02	比較例
W	0.42	0.25	18.2	0.038	0.012	1.29	2.7	1.28	0.0007	0.090	—	比較例
X	0.96	0.42	26.2	0.008	0.006	3.14	0.8	1.88	0.0005	0.012	—	比較例
Y	0.47	0.07	19.7	0.016	0.014	1.76	0.9	0.84	0.0008	0.070	—	比較例
Z	0.36	0.47	20.4	0.012	0.008	6.29	1.4	0.86	0.0007	0.005	—	比較例

【表1】

[0049]

[表2]

【表2】

ワイヤNo.	化 学 成 分 (質量%)												備 考
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	N	V,Ti,Nb	Cu,Al,Ca,REM	
27	0.55	0.34	26.1	0.012	0.008	2.12	0.7	1.21	0.0008	0.020	—	—	比較例
28	0.61	0.55	18.8	0.024	0.015	0.05	3.2	1.22	0.0007	0.081	—	—	比較例
29	0.29	0.41	23.2	0.005	0.024	6.82	2.4	0.01	0.0005	0.046	—	—	比較例
30	0.34	0.28	18.2	0.016	0.026	2.19	0.7	2.11	0.0004	0.015	—	—	比較例

[0050] [表3]

【表3】

ワイヤNo.	鋼No.	ワイヤ製造性	耐高温割れ性	ヒューム発生特性*	溶接ビード外観	溶着金属特性**		備 考
						0.2%耐力 (MPa)	吸収エネルギー vE ₋₁₉₆ (J)	
1	A	○	○	746	○	473	52	本発明例
2	B	○	○	573	○	515	49	本発明例
3	C	○	○	673	○	503	82	本発明例
4	D	○	○	568	○	442	48	本発明例
5	E	○	○	614	○	483	39	本発明例
6	F	○	○	752	○	562	76	本発明例
7	G	○	○	688	○	487	62	本発明例
8	H	○	○	572	○	539	51	本発明例
9	I	○	○	546	○	519	43	本発明例
10	J	○	○	685	○	498	73	本発明例
11	K	○	○	701	○	460	70	本発明例
12	L	○	○	641	○	434	68	本発明例
13	M	○	○	550	○	527	81	本発明例
14	N	○	○	565	○	364	42	比較例
15	O	○	○	616	○	367	86	比較例
16	P	×	—***	—***	—***	—***	—***	比較例
17	Q	×	—***	—***	—***	—***	—***	比較例
18	R	×	—***	—***	—***	—***	—***	比較例
19	S	×	—***	—***	—***	—***	—***	比較例
20	T	○	○	520	○	434	12	比較例
21	U	○	○	732	○	461	15	比較例
22	V	○	×	593	○	470	82	比較例
23	W	○	×	568	○	481	71	比較例
24	X	○	×	733	○	518	38	比較例
25	Y	○	○	597	×	421	58	比較例
26	Z	○	○	614	×	478	71	比較例
27	—	○	○	1656	○	458	51	比較例
28	—	○	○	1369	○	489	56	比較例
29	—	○	○	1539	○	494	79	比較例
30	—	○	○	1337	○	441	48	比較例

*)JIS Z 3930-2013に準拠

**)JIS Z 3111に準拠

***)測定できず

[0051] 本発明例はいずれも、ワイヤの製造性に優れ、JIS Z 3930-2013に準拠して、溶接電流：250Aでガスメタルアーク溶接を行ったときのヒューム発生量が1200mg/min以下であり、ヒューム発生量の少ない溶接材料である、といえる。

[0052] また、本発明例はいずれも、溶接時に溶接割れ（高温割れ）の発生がなく耐高温割れ性に優れ、さらに、常温における降伏強さ（0.2%耐力）が400MPa以上で、試験温度：-196℃におけるシャルピー衝撃試験の吸収エネルギーvE₋₁₉₆が、28 J以上と、高強度と優れた極低温靱性を兼備する溶接金属を得ること

ができる溶接材料（ソリッドワイヤ）である、といえる。

- [0053] 一方、本発明の範囲を外れる比較例では、ヒューム発生量が1200mg/minを超えて多いか、ワイヤの製造性が劣るか、溶接割れ（高温割れ）が発生し耐高温割れ性が低下しているか、溶接ビードに欠陥があるか、あるいは、常温における0.2%耐力が400MPa未満であるか、吸収エネルギー vE_{-196} が28 J 未満であるかして、所望の溶接時のヒューム発生量が少なく、高強度と優れた極低温靱性を兼備する溶着金属が得られていない。
- [0054] ワイヤNo. 14、No. 15（比較例）は、C、Cr量が本発明の範囲を低く外れているため、溶着金属の0.2%耐力が400MPa未満と所望の高強度を確保できていない。また、ワイヤNo. 16、No. 17、No. 18、No. 19（比較例）は、MnまたはTi、B、CrおよびNb量が本発明の範囲を高く外れているため、伸線加工性が低下し、所望のワイヤ径まで伸線できなかった。また、ワイヤNo. 20（比較例）は、Mnが本発明の範囲を低く外れているため、オーステナイト相の安定性が低く、そのため、吸収エネルギー vE_{-196} が28 J 未満と、極低温靱性が低下している。また、No. 21（比較例）は、Ni量が本発明の範囲を低く外れているため、吸収エネルギー vE_{-196} が28 J 未満と、極低温靱性が低下している。また、ワイヤNo. 22、No. 23、No. 24（比較例）は、Si、P、C量が本発明の範囲を高く外れているため、溶接割れが発生し、耐高温割れ性が低下している。また、ワイヤNo. 25（比較例）は、Si量が本発明の範囲を低く外れているため、また、ワイヤNo. 26（比較例）は、Al量が本発明の範囲を高く外れているため、良好なビード形状が得られず、ピットまたはオーバーラップが発生した。また、比較例であるワイヤNo. 27、No. 28、No. 29、No. 30はフラックスコアードワイヤであるため、ヒューム発生量が1200mg/minよりも多かった。

請求の範囲

- [請求項1] 質量%で、
C : 0.2~0.8%、
Mn : 17.0~28.0%、
S : 0.03%以下、
Cr : 0.4~4.0%、
B : 0.0010%未満、
Si : 0.15~0.90%、
P : 0.03%以下、
Ni : 0.01~10.00%、
Mo : 0.01~3.50%、
N : 0.12%以下
を含み、残部Feおよび不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。
- [請求項2] 前記組成に加えてさらに、質量%で、V : 0.04%以下、Ti : 0.04%以下、およびNb : 0.04%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1に記載のガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。
- [請求項3] 前記組成に加えてさらに、質量%で、Cu : 1.0%以下、Al : 0.1%以下、Ca : 0.01%以下およびREM : 0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または2に記載のガスメタルアーク溶接用ソリッドワイヤ。