(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7510104号
(P7510104)

(45)発行日　令和6年7月3日(2024.7.3)

(24)登録日　令和6年6月25日(2024.6.25)

(51)国際特許分類

Ｂ２３Ｋ　35/30　(2006.01)	Ｂ２３Ｋ	35/30
Ｃ２２Ｃ　38/00　(2006.01)	Ｂ２３Ｋ	35/30
Ｃ２２Ｃ　38/58　(2006.01)	Ｃ２２Ｃ	38/00
	Ｃ２２Ｃ	38/58

ＦＩ

Ｂ２３Ｋ	35/30
Ｂ２３Ｋ	35/30
Ｃ２２Ｃ	38/00
Ｃ２２Ｃ	38/58

３２０Ｃ
３３０Ｃ
３０２Ｂ

請求項の数　8　（全29頁）

(21)出願番号　特願2023-570049(P2023-570049)
(86)(22)出願日　令和4年9月30日(2022.9.30)
(86)国際出願番号　PCT/JP2022/036866
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
(72)発明者　立花 隼人
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　鈴木 毅

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　溶接金属、溶接継手、及び溶接構造物

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

溶接金属の全質量に対する質量％で、化学成分が、

Ｃ　：０．０３０～１．０００％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：４．１～３０．０％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：７．０～３０．０％、
Ｃｒ：２．０～１０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．０００％、
Ｖ　：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ｗ　：０～２０．０％、
Ｍｇ：０～５．０％、
Ａｌ：０～０．１００％、

Ｃａ：０～５．０％、
Ｔｉ：０～０．１００％、
Ｂ：０～０．５０００％、
ＲＥＭ：０～０．５００％、
Ｚｒ：０～０．５００％、
Ｎ　：０～０．５０００％、
Ｏ　：０．００１０～０．１５００％、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Ｎｂ含有量、前記Ｔｉ含有量、前記Ｖ含有量、及び前記Ａｌ含有量の合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）が０．００５％以上である溶接金属。

【請求項２】
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％以上である請求項１に記載の溶接金属。

【請求項３】
磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合が７０％以上である請求項１又は請求項２に記載の溶接金属。

【請求項４】
前記Ｍｎ含有量と前記Ｎｉ含有量との質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、１．００以上である請求項１に記載の溶接金属。

【請求項５】
前記Ｔｉの含有量が、Ｔｉ：０．００３～０．１００％である請求項１に記載の溶接金属。

【請求項６】
前記Ｃの含有量が、Ｃ：０．１１０～１．０００％である請求項１に記載の溶接金属。

【請求項７】
請求項１に記載の溶接金属を有する溶接継手。

【請求項８】
請求項７に記載の溶接継手を有する溶接構造物。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、溶接金属、溶接継手、及び溶接構造物に関する。

【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溶接材料を用いて溶接することで溶接金属が形成されている。この溶接材料は、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基合金を外皮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、溶接金属中に多量にＮｉを含有させると（例えばＮｉ含有量が７０％で設計された溶接材料を用いると）、非常に高価になるため、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を高めただけでは靭性が劣化し、機械特性が確保できない。

【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、当該溶接金属を有する溶接継手、及び、当該溶接継手を有する溶接構造物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＞ 溶接金属の全質量に対する質量％で、化学成分が、

Ｃ ：０．０３０～１．０００％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：４．１～３０．０％、
Ｐ ：０～０．０５０％、
Ｓ ：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：１．０～３０．０％、
Ｃｒ：０～２０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．０００％、
Ｖ ：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ｗ ：０～２０．０％、
Ｍｇ：０～５．０％、
Ａｌ：０～０．１００％、
Ｃａ：０～５．０％、
Ｔｉ：０～０．１００％、
Ｂ：０～０．５０００％、
ＲＥＭ：０～０．５００％、
Ｚｒ：０～０．５００％、
Ｎ ：０～０．５０００％、
Ｏ ：０．００１０～０．１５００％、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Ｎｂ含有量、前記Ｔｉ含有量、前記Ｖ含有量、及び前記Ａｌ含有量の合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）が０．００５％以上である溶接金属。

＜２＞　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％以上である＜１＞に記載の溶接金属。
＜３＞　磁気誘導法により求められるｆｃｃ割合が７０％以上である＜１＞又は＜２＞に記載の溶接金属。
＜４＞　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＞～＜３＞のいずれか１項に記載の溶接金属。
＜５＞　前記質量比（Ｎｉ／Ｍｎ）が、１．００以上である＜４＞に記載の溶接金属。
＜６＞　前記Ｔｉの含有量が、Ｔｉ：０．００３～０．１００％である＜１＞～＜５＞のいずれか１項に記載の溶接金属。
＜７＞　前記Ｃの含有量が、Ｃ：０．１１０～１．０００％である＜１＞～＜６＞のいずれか１項に記載の溶接金属。
＜８＞　＜１＞～＜７＞のいずれか１項に記載の溶接金属を有する溶接継手。
＜９＞　＜８＞に記載の溶接継手を有する溶接構造物。
【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、当該溶接金属を有する溶接継手、及び、当該溶接継手を有する溶接構造物が提供できる。
【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】
＜溶接金属＞
本開示に係る溶接金属は、化学成分が所定の組成である。
【００１１】
本開示に係る溶接金属は、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。
そして、本開示に係る溶接金属は、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できる溶接金属を得る技術について検討した。その結果、次の知見を得た。
低温靭性を確保するには、溶接金属の組織をオーステナイト単相にすることが好ましい。ＮｉとＭｎはいずれもオーステナイト安定化元素である。ただし、過度にＮｉを減らしたり、Ｍｎを増やしたりすると、積層欠陥エネルギーが低くなり、靭性が劣化した。そこで、ＮｉおよびＭｎの含有量を制御することで、積層欠陥エネルギーの低下を防いだ。これにより、溶接金属全体でのＮｉ含有量を低減し、Ｍｎ含有量を高めても、低温靭性に優れた溶接金属が得られた。
以上の知見から、本開示に係る溶接金属は、安価で、低温靭性に優れることが見出され

た。
【００１３】
以下、本開示に係る溶接金属を構成する要件（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。
【００１４】
（溶接金属の化学成分）
以下、溶接金属の化学成分について詳細に説明する。
なお、溶接金属の化学成分の説明において、「％」は、特に説明がない限り、「溶接金属の全質量に対する質量％」を意味する。
【００１５】
溶接金属の化学成分は、
Ｃ　：０．０３０～１．０００％、
Ｓｉ：０．０３～０．５０％、
Ｍｎ：４．１～３０．０％、
Ｐ　：０～０．０５０％、
Ｓ　：０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～５．０％、
Ｎｉ：１．０～３０．０％、
Ｃｒ：０～２０．０％、
Ｍｏ：０～１０．０％、
Ｎｂ：０～１．０００％、
Ｖ　：０～１．００％、
Ｃｏ：０～１．００％、
Ｐｂ：０～１．００％、
Ｓｎ：０～１．００％、
Ｗ　：０～２０．０％、
Ｍｇ：０～５．０％、
Ａｌ：０～０．１００％、
Ｃａ：０～５．０％、
Ｔｉ：０～０．１００％、
Ｂ：０～０．５０００％、
ＲＥＭ：０～０．５００％、
Ｚｒ：０～０．５００％、
Ｎ　：０～０．５０００％、
Ｏ　：０．００１０～０．１５００％、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、
Ｎｂ含有量、Ｔｉ含有量、Ｖ含有量、及び前記Ａｌ含有量の合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）が０．００５％以上である。
【００１６】
（Ｃ　：０．０３０～１．０００％）
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、溶接金属のＣ含有量が過剰であると、溶接金属の強度上昇による、靭性を劣化させる影響が大きく、溶接金属の低温靭性が低下する。
よって、溶接金属のＣ含有量は、０．０３０～１．０００％とする。
溶接金属のＣ含有量の下限は、好ましくは、０．０５０％、０．１００％、０．１１０％、０．１２０％、０．１４０％、０．１５０％、０．２００％、又は０．２５０％としてもよい。
溶接金属のＣ含有量の上限は、好ましくは、０．９００％、０．８００％、０．７００

％、０．６００％、０．５５０％、０．５００％、０．４５０％、又は０．４００％である。

【００１７】

（Ｓｉ：０．０３～０．５０％）

Ｓｉは、脱酸元素である。溶接金属のＳｉ含有量が低すぎると、溶接金属の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、溶接金属のＳｉ含有量は、０．０３～０．５０％とする。

溶接金属のＳｉ含有量の下限は、好ましくは、０．０４％、０．０５％、又は０．０８％である。

溶接金属のＳｉ含有量の上限は、好ましくは、０．４８％、０．４５％、０．４０％、０．３５％、０．３０％、又は０．２０％である。

【００１８】

（Ｍｎ：４．１～３０．０％）

Ｍｎは、オーステナイト安定化元素である。溶接金属のＭｎ含有量が低すぎると、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、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。

一方、溶接金属のＭｎ含有量が過剰であると、溶接金属中でミクロ偏析しやすく、偏析部で顕著な脆化が生じる。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。

よって、溶接金属のＭｎ含有量は、４．１～３０．０％とする。

溶接金属のＭｎ含有量の下限は、好ましくは、４．２％、４．５％、５．０％、７．０％、９．０％、又は１０．０％である。

溶接金属のＭｎ含有量の上限は、好ましくは、２８．０％、２５．０％、２３．０％、２０．０％、１８．０％、１５．０％、又は１４．５％である。

【００１９】

（Ｐ　：０～０．０５０％）

Ｐは、不純物元素であり、靭性を低下させるので、溶接金属のＰ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、溶接金属の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、溶接金属のＰ含有量は、０．００３％以上がよい。

一方、溶接金属の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、溶接金属のＰ含有量は、０～０．０５０％とする。

靭性の低下を効果的に抑制するために、溶接金属の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。

【００２０】

（Ｓ　：０～０．０５０％）

Ｓは、不純物元素であり、靭性を低下させるので、溶接金属のＳ含有量は極力低減させることが好ましい。よって、溶接金属の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、溶接金属のＳ含有量は、０．００３％以上がよい。

一方、溶接金属の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、溶接金属のＳ含有量は、０～０．０５０％とする。

靭性の低下を効果的に抑制するために、溶接金属の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。

【００２１】
（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、溶接金属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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属のＣｕ含有量が過剰であると、上記の効果が飽和する。
よって、溶接金属のＣｕ含有量は、０～５．０％とする。
溶接金属のＣｕ含有量の下限は、好ましくは、０．３％、０．５％、又は０．７％である。
溶接金属のＣｕ含有量の上限は、好ましくは、４．５％、４．０％、又は３．５％である。
【００２２】
（Ｎｉ：１．０～３０．０％）
Ｎｉは、オーステナイト安定化元素である。溶接金属のＮｉ含有量が低すぎると、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。
一方、溶接金属のＮｉ含有量を増やすと、溶接金属のコストが高くなる。
よって、溶接金属のＮｉ含有量は、１．０～３０．０％とする。
溶接金属のＮｉ含有量の下限は、好ましくは、２．０％、３．０％、３．２％、３．７％、５．０％、又は７．０％である。
溶接金属のＮｉ含有量の上限は、好ましくは、２８．０％、２５．０％、２３．０％、２０．０％、１８．０％、又は１５．０％である。
【００２３】
（Ｃｒ：０～２０．０％）
Ｃｒは、オーステナイト安定化元素であり、溶接金属の低温靭性向上のため、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＣｒ含有量は、０～２０．０％とする。
溶接金属のＣｒ含有量の下限は、好ましくは、１．０％、２．０％、又は３．０％である。
溶接金属のＣｒ含有量の上限は、好ましくは、１８．０％、１５．８％、１５．３％、１５．０％、１３．３％、１３．０％、１０．０％、９．０％、８．０％、又は７．０％である。
【００２４】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＭｏ含有量は、０～１０．０％とする。
溶接金属のＭｏ含有量の下限は、好ましくは、１．０％、２．０％、又は３．０％である。
溶接金属のＭｏ含有量の上限は、好ましくは、９．０％、８．０％、又は７．０％である。
【００２５】
（Ｎｂ：０～１．０００％）
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、溶接金属に含有させてもよい。
一方で、溶接金属の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、溶接金属のＮｂ含有量は、０～１．０００％とする。
溶接金属のＮｂ含有量の下限は、好ましくは、０．０１０％、０．０５０％、０．１００％、０．１５０％、又は０．２００％である。
溶接金属のＮｂ含有量の上限は、好ましくは、０．９５０％、０．９００％、０．８５０％、又は０．８００％である。
【００２６】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
一方で、溶接金属の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、溶接金属のＶ含有量は、０～１．００％とする。
溶接金属の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。
溶接金属の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。
【００２７】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＣｏ含有量は、０～１．００％とする。
溶接金属の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。
溶接金属の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。
【００２８】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属のＰｂ含有量が過剰であると、高温割れが発生する。
よって、溶接金属のＰｂ含有量は、０～１．００％とする。
溶接金属の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。
溶接金属の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。
【００２９】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＳｎ含有量は、０～１．００％とする。
溶接金属の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。
溶接金属の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。
【００３０】
（Ｗ　：０～２０．０％）
Ｗは、固溶強化元素であり、強度向上のために溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属のＷ含有量が過剰であると、溶接金属の強度が過剰となり、靭性低下が

発生する可能性がある。
よって、溶接金属のW含有量は、０～２０．０％とする。
溶接金属のW含有量の下限は、好ましくは、０．５％、１．０％、又は２．０％である。
溶接金属のW含有量の上限は、好ましくは、１９．０％、１８．０％、１７．０％、１６．０％、又は１５．０％である。
【００３１】
（Ｍｇ：０～５．０％）
Ｍｇは、脱酸元素であり、酸素を低減し、靭性の改善に効果があるため、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属のＭｇ含有量が過剰であると、溶接金属を得るための溶接作業時においてアークが不安定化して、スパッタおよびブローホールが増加し、溶接作業性を劣化させる。
よって、溶接金属のＭｇ含有量は、０～５．０％とする。
溶接金属のＭｇ含有量の下限は、好ましくは、０．０２％、０．０５％、０．１％、又は０．２％である。
溶接金属のＭｇ含有量の上限は、好ましくは、４．８％、４．５％、４．３％、又は４．０％である。
【００３２】
（Ａｌ：０～０．１００％）
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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＡｌ含有量は、０～０．１００％とする。
溶接金属のＡｌ含有量の下限は、好ましくは、０．０１０％、０．０２０％、又は０．０３０％である。
溶接金属のＡｌ含有量の上限は、好ましくは、０．０９０％、０．０８０％、又は０．０７０％である。
【００３３】
（Ｃａ：０～５．０％）
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を溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属のＣａ含有量が過剰であると、硫化物及び酸化物の粗大化が生じ、溶接金属の低温靭性の劣化を招く可能性がある。
よって、溶接金属のＣａ含有量は、０～５．０％とする。
溶接金属のＣａ含有量の下限は、好ましくは、０．０１％、０．０２％、又は０．０３％である。
溶接金属のＣａ含有量の上限は、好ましくは、４．８％、４．５％、４．３％、又は４．０％である。
【００３４】
（Ｔｉ：０～０．１００％）
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、溶接金属に含有させてもよい。
一方、溶接金属の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、溶接金属のＴｉ含有量は、０～０．１００％とする。
溶接金属のＴｉ含有量の下限は、好ましくは、０．００３％、０．０１０％、０．０２０％、又は０．０３０％である。
溶接金属のＴｉ含有量の上限は、好ましくは、０．０９０％、０．０８０％、又は０．

０７０％である。
【００３５】
（Ｂ　：０～０．５０００％）
　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、溶接金属に含有させてもよい。
　一方、溶接金属の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、溶接金属のＢ含有量は、０～０．５０００％とする。
　溶接金属のＢ含有量の下限は、好ましくは、０．０００５％、０．００１０％、又は０．００２０％である。
　溶接金属のＢ含有量の上限は、好ましくは、０．４８００％、０．４５００％、０．４３００％、又は０．４０００％である。
【００３６】
（ＲＥＭ：０～０．５００％）
　ＲＥＭは、溶接金属を得るための溶接作業時においてアークを安定化させる元素であるので、溶接金属に含有させてもよい。
　一方、溶接金属のＲＥＭ含有量が過剰であると、溶接金属を得るための溶接作業時においてスパッタが激しくなり、溶接作業性が劣悪となる可能性がある。
　よって、溶接金属のＲＥＭ含有量は、０～０．５００％とする。
　溶接金属のＲＥＭ含有量の下限は、好ましくは、０．００１％、０．００２％、又は０．００５％である。
　溶接金属のＲＥＭ含有量の上限は、好ましくは、０．４８０％、０．４５０％、０．４３０％、又は０．４００％である。
【００３７】
（Ｚｒ：　０～０．５００％）
　Ｚｒは、溶接金属を得るための溶接作業時においてビード形状を安定化させることができるので、溶接金属に含有させてもよい。
　一方、溶接金属のＺｒ含有量が過剰であると、溶接金属の酸素量を増加させ、低温靭性を劣化させる可能性がある。
　よって、溶接金属のＺｒ含有量は、０～０．５００％とする。
　溶接金属のＺｒ含有量の下限は、好ましくは、０．００１％、０．００２％、又は０．００５％である。
　溶接金属のＺｒ含有量の上限は、好ましくは、０．４８０％、０．４５０％、０．４３０％、又は０．４００％である。
【００３８】
（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、溶接金属に含有させてもよい。
　一方、溶接金属の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、溶接金属のＮ含有量は、０～０．５０００％とする。
　溶接金属のＮ含有量の下限は、好ましくは、０．００１０％、０．０１００％、又は０．０５００％である。
　溶接金属のＮ含有量の上限は、好ましくは、０．４５００％、０．４０００％、又は０．３５００％である。
【００３９】
（Ｏ　：０．００１０～０．１５００％）
　Ｏは、不純物として溶接金属中に含有される。しかしながら、Ｏの含有量が過剰になると、靭性および延性の劣化を招くため、溶接金属のＯ含有量の上限は、０．１５００％以下とする。

一方、Ｏの含有量の極端な低減は製造コストの上昇を招くため、溶接金属のＯ含有量の下限は、０．００１０％以下とする。
溶接金属のＯ含有量の下限は、好ましくは、０．００２０％、又は０．００３０％である。
溶接金属のＯ含有量の上限は、好ましくは、０．１３００％、又は０．１０００％である。
【００４０】
（残部：Ｆｅ及び不純物）
溶接金属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、溶接金属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、溶接金属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。
【００４１】
（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、溶接金属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、溶接金属における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。
溶接金属におけるＭｎ含有量及びＮｉ含有量の合計（Ｍｎ＋Ｎｉ）は、好ましくは、５．２％以上、６．２％以上、６．７％以上、７．０％以上、１０．０％以上、又は１５．０％以上である。
【００４２】
また、過度にＭｎを増やすと、積層欠陥エネルギーが低くなり靭性が劣化する。そのため、溶接金属のコストを抑え、溶接金属の低温靭性を向上させる観点から、溶接金属における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。
溶接金属における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。
【００４３】
（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、溶接金属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、溶接金属における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％以上とすることが好ましい。
溶接金属における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、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。
【００４４】
一方、Ｍｎ含有量が過度な量でないことにより、積層欠陥エネルギーが低くなり過ぎず靭性が確保できる。また、Ｃｒ含有量が過度な量でないことにより、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広がることを抑制できるので、高温割れの発生を抑制できる。そのため、溶接金属のコストを抑え、溶接金属の低温靭性を向上させつつ、且つ溶融金属における低融点化合物の発生量を低減し、高温割れの発生を抑制する観点から、溶接金属における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。
溶接金属における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。
【００４５】

（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、さらに過度にＭｎを増やすと積層欠陥エネルギーが低くなり靭性が劣化する。
そのため、溶接金属のコストを抑えつつ、溶接金属の低温靭性を向上する観点から、溶接金属における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。
溶接金属における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、０．７３、１．００、１．１０、又は１．２０である。
溶接金属における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。

【００４６】
（Ｎｂ含有量、Ｔｉ含有量、Ｖ含有量、及びＡｌ含有量の合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ））
Ｎｂ、Ｔｉ、Ｖ、及びＡｌは、いずれも析出強化により溶接金属の強度を向上させる元素であるため、溶接金属はこれらのうち１種以上を含有し、かつその合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）を０．００５％以上とする。
溶接金属におけるＮｂ、Ｔｉ、Ｖ、及びＡｌの合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）の下限は、好ましくは、０．０１０％、０．０２０％、０．０５０％、０．１００％、０．３００％、又は０．５００％である。
一方、溶接金属におけるＮｂ、Ｔｉ、Ｖ、及びＡｌの合計（Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ）の上限は、特に限定されるものではないが、析出が過剰に形成されることによる靭性劣化を防ぐために、好ましくは、２．０００％、１．８００％、１．５００％、又は１．３００％である。

【００４７】
（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、溶接金属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、溶接金属におけるｆｃｃ割合を、７０％以上とすることが好ましい。ｆｃｃ割合は、より好ましくは、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。

【００４８】
溶接金属の組織におけるｆｃｃ割合は、次の方法で求めることができる。
溶接金属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、溶接金属の組織におけるｆｃｃ割合（％）を求める。
ｆｃｃ割合＝１００－ｂｃｃ割合

【００４９】
（引張強さ）
溶接金属の引張強さは、例えば５９０～１２００ＭＰａとすることが好ましい。なお、引張強さはＪＩＳ　Ｚ３１１１：２００５に準じて溶接金属の引張試験を行うことで測定できる。

【００５０】
＜溶接継手および溶接構造物＞
次に、本開示に係る溶接継手および溶接構造物について説明する。
本開示に係る溶接継手は、本開示に係る溶接金属を有する。例えば本開示に係る溶接継手は、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。
また、本開示に係る溶接構造物は、本開示に係る溶接継手を有する。

【００５１】
本開示に係る溶接継手は、本開示に係る溶接金属を有しているので、安価であり、且つ低温靭性に優れる。
【００５２】
ここで、本開示に係る溶接継手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、本開示に係る溶接継手を製造する方法は、以下の方法に限定されるものではない。
【００５３】
本開示に係る溶接継手は、溶接材料を用いて母材となる鋼材を溶接することで製造することができる。
【００５４】
例えば、本開示に係る溶接継手の製造方法は、フラックス入りワイヤを用いて、鋼材をガスシールドアーク溶接することで得られる。この場合、溶接金属の化学成分には、溶接材料であるフラックス入りワイヤ、及び母材である鋼材に由来する成分が含まれる。
【００５５】
また、本開示に係る溶接継手の製造方法は、ソリッドワイヤ及びフラックスを用いて、サブマージアーク溶接することで得られる。例えばサブマージアーク溶接では、溶接線上にあらかじめ顆粒状のフラックスを散布しておき、その中にソリッドワイヤを送り込み、フラックス中においてソリッドワイヤと鋼材との間のアークから生じるアーク熱で溶接する、一般的なサブマージアーク溶接機器を適用することができる。この場合、溶接金属の化学成分には、溶接材料であるソリッドワイヤ及びフラックス、並びに母材である鋼材に由来する成分が含まれる。
【００５６】
また、本開示に係る溶接継手の製造方法は、例えば、被覆アーク溶接、簡易エレクトロガスアーク溶接、エレクトスラグ溶接、ＴＩＧ溶接、およびソリッドワイヤを用いたガスシールド溶接等の溶接方法により得られる。この場合、溶接金属の化学成分には、溶接材料、及び母材である鋼材に由来する成分が含まれる。
【００５７】
本開示に係る溶接継手が有する母材、つまり上記の溶接継手の製造方法に用いる鋼材（被溶接材）の種類は特に限定されないが、例えば、板厚２０mm以上の６～９％Ｎｉを含むＮｉ系低温用鋼を好適に用いることができる。
【実施例】
【００５８】
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。
【００５９】
以下に示す方法により、被覆アーク溶接棒を用いた被覆アーク溶接（Shielded Metal Arc Welding：SMAW）、フラックス入りワイヤを用いたガスシールドアーク溶接（Gas Metal Arc Welding：GMAW）、及びソリッドワイヤおよびフラックスを用いたサブマージアーク溶接（Submerged Arc Welding：SAW）により、溶接金属を得た。
【００６０】
＜１．被覆アーク溶接棒を用いた被覆アーク溶接（SMAW）＞
（被覆アーク溶接棒の製造）
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２－Ａ、表２－Ｂに示す化学成分を有する芯線に対し、表２－Ｃに示す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（番号１～３、１５、Ａ１、Ａ４）の構成を表２－Ａ～表２－Ｃに示す。

【００６１】
表２－Ａ、表２－Ｂ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、表２－Ｃに示されたフラックスの成分（酸化物、弗化物、及び金属炭酸塩）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、「Al_2O_3」はＡｌ酸化物のAl_2O_3換算値の合計を、「ＭｇＯ」はＭｇ酸化物のＭｇＯ換算値の合計を、「Na_2O」はＮａ酸化物のNa_2O換算値の合計を、「K_2O」はＫ酸化物のK_2O換算値の合計を、示す。
【００６２】
表２－Ａ、表２－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）は鉄及び不純物である。
表２－Ａ～表２－Ｃにおいて、芯線の化学成分及びフラックスの成分の含有量に係る表中の空欄は、その成分等の含有量が有効桁数未満であることを意味する。これらの成分等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。
【００６３】
（溶接継手の製造）
得られた被覆アーク溶接棒（番号１～３、１５、Ａ１、Ａ４）を用いて、立向上進溶接で、被覆アーク溶接することにより溶接金属を有する溶接継手を製造した。溶接する鋼板として板厚が５０mmである９％Ｎｉ鋼（ＪＩＳ　Ｇ　３１２７：２０１３　ＳＬ９Ｎ５９０に準じた鋼板）を用いた。溶接の際の溶接電流は全て交流とし、溶接条件は表５に記載の「被覆アーク溶接（SMAW）」の条件とした。
製造した溶接継手における溶接金属の化学成分を表１－Ａ～表１－Ｃに示す（番号１～３、１５、Ａ１、Ａ４）。なお、表１－Ａ～表１－Ｃ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。
【００６４】
＜２．フラックス入りワイヤを用いたガスシールドアーク溶接（GMAW）＞
（フラックス入りワイヤの製造）
フラックス入りワイヤは、以下に説明する方法により製造した。
まず、鋼帯を長手方向に送りながら、成形ロールを用いて成形してＵ型のオープン管を得た。このオープン管の開口部を通じてオープン管内にフラックスを供給し、オープン管の開口部の相対するエッジ部を突合わせ溶接してシームレス管を得た。このシームレス管を伸線して、スリット状の隙間がないフラックス入りワイヤを得た。
このようにして、最終のワイヤ径がφ１．２mmのフラックス入りワイヤを試作した。
なお、これらフラックス入りワイヤの伸線作業の途中で、フラックス入りワイヤを６５０～９５０℃の温度範囲内で４時間以上焼鈍した。試作後、ワイヤ表面には潤滑剤を塗布した。これらフラックス入りワイヤ（番号４～９、Ａ２）の構成（ワイヤ全体の化学成分、フラックスの成分）を表３－Ａ～表３－Ｃに示す。
【００６５】
表３－Ａ～表３－Ｃに示された、ワイヤ全体の化学成分の含有量、フラックスの成分（酸化物、及び弗化物）の含有量の単位は「フラックス入りワイヤ全質量に対する質量％」である。表中において「ワイヤ全体の化学成分」は、「酸化物、及び弗化物を除くワイヤの化学成分」を意味する。
【００６６】
表３－Ａ、表３－Ｂに示されたワイヤ全体の化学成分の残部（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。
表３－Ａ、表３－Ｂに示されたフラックス入りワイヤに含まれる各元素は、鋼製外皮又は金属粉の形態である。
表３－Ａ～表３－Ｃにおいて、ワイヤ全体の化学成分及びフラックスの成分の含有量に係る表中の空欄は、その成分等の含有量が有効桁数未満であることを意味する。これらの成分等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。

【００６７】
（溶接継手の製造）
得られたフラックス入りワイヤ（番号４～９、Ａ２）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溶接金属を有する溶接継手を製造した。溶接する鋼板として板厚が５０ｍｍである９％Ｎｉ鋼（ＪＩＳ　Ｇ　３１２７　ＳＬ９Ｎ５９０に準じた鋼板）を用いた。溶接の際の溶接ガスの種類は、Ａｒ－２０％CO_2ガスとした。溶接の際の溶接電流は全て直流とし、ワイヤの極性は全てプラスとした。溶接条件は表５に記載の「フラックス入りワイヤ（GMAW）」の条件とした。
製造した溶接継手における溶接金属の化学成分を表１－Ａ～表１－Ｃに示す（番号４～９、Ａ２）。なお、表１－Ａ～表１－Ｃ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。
【００６８】
＜３．ソリッドワイヤおよびフラックスを用いたサブマージアーク溶接（SAW）＞
（ソリッドワイヤの製造）
ソリッドワイヤは、以下に説明する方法により製造した。
まず、表４－Ａ、表４－Ｂに示す化学成分を有する鋼を溶解し、その後鍛造加工を施した。その後、圧延加工を経てこの鋼を棒状に加工し、この棒状の鋼を伸線することで、ソリッドワイヤを得た。このようにして、最終のワイヤ径がφ２．４ｍｍのソリッドワイヤ（番号１０～１４、１６～１７、Ａ３、Ａ５）を試作した。
なお、得られたソリッドワイヤの化学成分を分析したところ、表４－Ａ、表４－Ｂに示す化学成分を有していた。試作後、ワイヤ表面には潤滑剤を塗布した。
【００６９】
表４－Ａ、表４－Ｂに示されたワイヤの化学成分の含有量の単位は「ソリッドワイヤ全質量に対する質量％」である。
【００７０】
表４－Ａ、表４－Ｂに示されたワイヤの残部（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。
表４－Ａ、表４－Ｂにおいて、ワイヤの化学成分の含有量に係る表中の空欄は、その化学成分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。
【００７１】
（溶接継手の製造）
得られたソリッドワイヤ（番号１０～１４、１６～１７、Ａ３、Ａ５）を用いて、サブマージアーク溶接により下向で溶接することにより溶接金属を有する溶接継手を製造した。具体的には、ソリッドワイヤを、サブマージアーク溶接用フラックスである日鉄溶接工業社製ＮＩＴＴＥＴＳＵ　ＦＬＵＸ　１０Ｈと組合せて用いてサブマージアーク溶接した。
溶接する鋼板として板厚が４０ｍｍである９％Ｎｉ鋼（ＪＩＳ　Ｇ　３１２７　ＳＬ９Ｎ５９０に準じた鋼板）を用いた。溶接の際の溶接電流は全て直流とし、ワイヤの極性は全てプラスとした。溶接条件は表５に記載の「サブマージアーク溶接（SAW）」の条件とした。
製造した溶接継手における溶接金属の化学成分を表１－Ａ～表１－Ｃに示す（番号１０～１４、１６～１７、Ａ３、Ａ５）。なお、表１－Ａ～表１－Ｃ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。
【００７２】
＜評価試験＞
（低温靭性の評価）
本開示例及び比較例で得られた溶接金属（番号１～１７、Ａ１～Ａ５）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。

【００７３】

【表１－Ａ】

番号	区分	溶接方法	化学成分（質量％）（残部はFeおよび不純物）											
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
1	本開示例	SMAW	0.570	0.32	16.8	0.017	0.010		24.5	4.7	6.9		1.00
2	本開示例	SMAW	0.120	0.25	22.8	0.024	0.009		1.9	9.2	7.2	0.937	
3	本開示例	SMAW	0.340	0.30	8.0	0.009	0.009		12.0	7.0	3.0	0.020	
4	本開示例	GMAW	0.510	0.29	22.0	0.036	0.010	1.3	27.5	18.0		0.596	
5	本開示例	GMAW	0.380	0.36	24.3	0.012	0.042		12.2	2.0	5.4	0.115	
6	本開示例	GMAW	0.357	0.43	9.1	0.009	0.009		17.1	7.4	3.4	0.018	
7	本開示例	GMAW	0.770	0.36	15.5	0.017	0.032	1.5	14.6	0.6	0.4		0.56
8	本開示例	GMAW	0.450	0.17	14.2	0.045	0.028		18.9		6.4		0.15
9	本開示例	GMAW	0.590	0.43	28.0	0.026	0.036		11.5		7.4		0.40
10	本開示例	SAW	0.720	0.32	24.9	0.027	0.039		21.9	6.5	9.4	0.720	
11	本開示例	SAW	0.390	0.23	27.3	0.013	0.004		17.8	4.3		0.352	
12	本開示例	SAW	0.430	0.25	12.5	0.009	0.009		12.8		2.1	0.028	
13	本開示例	SAW	0.950	0.13	5.0	0.014	0.001		21.9	7.2	0.3	0.138	0.70
14	本開示例	SAW	0.130	0.12	27.4	0.034	0.048	3.3	2.7	2.2		0.586	0.83
15	本開示例	SMAW	0.340	0.05	5.0	0.009	0.009		4.0	7.0	3.0	0.020	
16	本開示例	SAW	0.670	0.08	15.2	0.014	0.001		28.0	7.2	0.3		
17	本開示例	SAW	0.200	0.20	4.5	0.007	0.008		15.0	5.0	5.0		0.12
A1	比較例	SMAW	0.910	0.41	8.7	0.004	0.046		23.5				
A2	比較例	GMAW	0.090	0.30	**1.0**	0.045	0.016		2.0	6.3	6.9		
A3	比較例	SAW	0.090	0.19	**35.0**	0.024	0.029		5.8		7.3		0.89
A4	比較例	SMAW	0.340	0.30	**3.0**	0.009	0.009		5.0	8.0	3.0		
A5	比較例	SAW	0.510	0.29	29.0	0.036	0.010	1.3	**0.5**			0.125	

【００７４】

【表１－Ｂ】

番号	区分	化学成分（質量％）（残部はFeおよび不純物）												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N
1	本開示例	0.55	0.08		4.3	4.6	0.016						0.1021
2	本開示例	0.24		0.15	13.8								0.0979
3	本開示例	0.09					0.015		0.010				0.0180
4	本開示例	0.35	0.66							0.3273	0.045		0.3850
5	本開示例	0.76					0.058	1.5	0.028				0.0880
6	本開示例						0.009		0.054	0.0010			0.0145
7	本開示例			0.06					0.018			0.057	0.0182
8	本開示例	0.97				4.7			0.026			0.046	0.0175
9	本開示例				10.2					0.3406			0.0082
10	本開示例				10.1			1.2		0.2640			0.1314
11	本開示例	0.80	0.41		2.5								0.0902
12	本開示例	0.01					0.030						0.0098
13	本開示例					4.2					0.095	0.045	0.0169
14	本開示例					5.0			0.031	0.0480	0.044		0.0197
15	本開示例						0.015		0.010				0.0180
16	本開示例						0.009		0.054				0.0169
17	本開示例												0.0245
A1	比較例			0.25	6.8	2.8	0.003	2.4			0.035		0.0182
A2	比較例	0.19					0.096		0.033		0.090	0.100	0.1314
A3	比較例				5.8								0.0102
A4	比較例	0.09							0.010				0.0180
A5	比較例												0.3850

【００７５】

【表１－Ｃ】

番号	区分	化学成分（質量%）（残部はFeおよび不純物）					fcc割合（%）
		O	Mn+Ni	Nb+Ti+V+Al	Mn/Ni	Mn+Ni+Cr	
1	本開示例	0.0188	41.3	1.016	0.69	46.0	100
2	本開示例	0.0200	24.7	0.937	12.00	33.9	100
3	本開示例	0.0239	20.0	0.045	0.67	27.0	100
4	本開示例	0.0455	49.5	0.596	0.80	67.5	100
5	本開示例	0.0413	36.5	0.201	1.99	38.5	100
6	本開示例	0.0471	26.2	0.081	0.53	33.6	100
7	本開示例	0.0587	30.1	0.578	1.06	30.7	100
8	本開示例	0.0606	33.1	0.176	0.75	33.1	100
9	本開示例	0.0686	39.5	0.400	2.43	39.5	100
10	本開示例	0.0097	46.8	0.720	1.14	53.3	100
11	本開示例	0.0094	45.1	0.352	1.53	49.4	100
12	本開示例	0.0195	25.3	0.058	0.98	25.3	100
13	本開示例	0.0233	26.9	0.838	0.23	34.1	100
14	本開示例	0.0153	30.1	1.447	10.15	32.3	98
15	本開示例	0.0239	9.0	0.045	1.25	16.0	89
16	本開示例	0.0283	43.2	0.063	0.54	50.4	100
17	本開示例	0.0215	19.5	0.120	0.30	24.5	72
A1	比較例	0.0195	32.2	**0.003**	0.37	32.2	100
A2	比較例	0.0307	**3.0**	0.129	0.50	9.3	0
A3	比較例	0.0041	40.8	0.890	6.03	40.8	100
A4	比較例	0.0239	8.0	0.010	0.60	16.0	65
A5	比較例	0.0455	29.5	0.125	58.00	29.5	100

【００７６】

【表２－Ａ】

番号	区分	溶接方法	芯線の化学成分（質量％）（残部はFeおよび不純物）										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
1	本開示例	SMAW	0.570	0.400	21.000	0.002	0.010		24.500	4.700	6.900		1.000
2	本開示例	SMAW	0.120	0.313	28.500	0.002	0.009		1.900	9.200	7.200	0.937	
3	本開示例	SMAW	0.340	0.375	10.000	0.001	0.009		12.000	7.000	3.000	0.020	
15	本開示例	SMAW	0.340	0.063	6.250	0.001	0.009		4.000	7.000	3.000	0.020	
A1	比較例	SMAW	0.200	0.250	5.625	0.001	0.008		15.000	5.000	5.000		0.120
A4	比較例	SMAW	0.340	0.375	3.750	0.001	0.009		5.000	8.000	3.000		

【００７７】

【表２－Ｂ】

番号	区分	芯線の化学成分（質量%）（残部はFeおよび不純物）											
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N
1	本開示例	0.550	0.080		4.300	9.200	1.600						0.085
2	本開示例	0.240		0.150	13.800								0.082
3	本開示例	0.090					1.500		0.014				0.015
15	本開示例						1.500		0.014				0.015
A1	比較例												0.020
A4	比較例	0.090							0.014				0.015

【００７８】

【表２－Ｃ】

番号	区分	フラックスの成分							
		TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaF_2	$CaCO_3$
1	本開示例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
2	本開示例	10.0	10.0	7.5				2.5	70.0
3	本開示例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
15	本開示例	10.0	10.0	7.5				2.5	70.0
A1	比較例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
A4	比較例	10.0	10.0	7.5				20.0	52.6

【００７９】

【表３－Ａ】

番号	区分	溶接方法	ワイヤ全体の化学成分（質量%）（残部はFeおよび不純物）										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
4	本開示例	GMAW	0.510	0.363	27.500	0.003	0.010	1.300	27.500	18.000		0.596	
5	本開示例	GMAW	0.380	0.450	30.375	0.001	0.042		12.200	2.000	5.400	0.115	
6	本開示例	GMAW	0.357	0.538	11.425	0.001	0.009		17.100	7.400	3.400	0.018	
7	本開示例	GMAW	0.770	0.450	19.375	0.002	0.032	1.500	14.600	0.600	0.400		0.560
8	本開示例	GMAW	0.450	0.213	17.750	0.004	0.028		18.900		6.400		0.150
9	本開示例	GMAW	0.590	0.538	35.000	0.002	0.036		11.500		7.400		0.400
A2	比較例	GMAW	0.090	0.375	1.250	0.004	0.016		2.000	6.300	6.900		

【００８０】

【表３－Ｂ】

番号	区分	ワイヤ全体の化学成分（質量％）（残部はFeおよび不純物）												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N
4	本開示例	0.350	0.660							0.385	0.090		0.321
5	本開示例	0.760					5.800	3.000	0.040				0.073
6	本開示例						0.900		0.077	0.001			0.012
7	本開示例			0.060					0.026			0.114	0.015
8	本開示例	0.970				9.400			0.037			0.092	0.015
9	本開示例				10.200					0.401			0.007
A2	比較例	0.190					9.600		0.047		0.180	0.200	0.110

【００８１】

【表３－Ｃ】

番号	区分	フラックスの成分						
		TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaF_2
4	本開示例	5.0	1.0			0.1	0.1	0.1
5	本開示例		0.1	7.5				
6	本開示例	5.0	1.0			0.1	0.1	0.1
7	本開示例		0.1	7.5				
8	本開示例	5.0	1.0			0.1	0.1	0.1
9	本開示例		0.1	7.5				
A2	比較例	5.0	1.0			0.1	0.1	0.1

【００８２】

【表４－Ａ】

ワイヤ番号	区分	溶接方法	ワイヤの化学成分（質量％）（残部はFeおよび不純物）									
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
10	本開示例	SAW	0.864	0.480	37.350	0.003	0.047		26.280	7.800	10.890	0.650	
11	本開示例	SAW	0.468	0.345	40.950	0.001	0.005		21.360	5.160		0.422	
12	本開示例	SAW	0.516	0.375	18.750	0.001	0.011		15.360		2.520	0.034	
13	本開示例	SAW	1.140	0.195	7.500	0.002	0.001		26.280	8.640	0.360	0.166	0.840
14	本開示例	SAW	0.156	0.180	41.100	0.004	0.058	3.960	3.240	2.640		0.703	0.996
16	本開示例	SAW	0.240	0.300	6.750	0.001	0.010		18.000	6.000	6.000		0.144
17	本開示例	SAW	0.240	0.300	6.750	0.001	0.010		18.000	6.000	6.000		0.144
A3	比較例	SAW	0.108	0.285	52.500	0.003	0.035		6.960		8.760		1.068
A5	比較例	SAW	0.612	0.435	43.500	0.004	0.012	1.560	0.600			0.150	

【００８３】

【表４－Ｂ】

ワイヤ番号	区分	ワイヤの化学成分（質量%）（残部はFeおよび不純物）												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N
10	本開示例				12.120			2.880		0.373			0.131
11	本開示例	0.960	0.492		3.000								0.090
12	本開示例	0.012					3.600						0.010
13	本開示例					10.080					0.228	0.108	0.017
14	本開示例					12.000			0.053	0.068	0.106		0.020
16	本開示例												0.025
17	本開示例												0.025
A3	比較例				6.960								0.010
A5	比較例												0.385

【００８４】

【表５】

溶接方法	電流	電圧	速度	入熱
	A	V	mm/min	kJ/mm
被覆アーク溶接(SMAW)	140	22	160	1.2
フラックス入りワイヤ(GMAW)	200	31	350	1.1
サブマージアーク溶接(SAW)	360	30	350	1.9

【００８５】
【表６】

番号	区分	低温靭性
1	本開示例	合格
2	本開示例	優
3	本開示例	合格
4	本開示例	合格
5	本開示例	優
6	本開示例	合格
7	本開示例	優
8	本開示例	合格
9	本開示例	優
10	本開示例	優
11	本開示例	優
12	本開示例	合格
13	本開示例	合格
14	本開示例	優
15	本開示例	優
16	本開示例	合格
17	本開示例	合格
A1	比較例	不合格
A2	比較例	不合格
A3	比較例	不合格
A4	比較例	不合格
A5	比較例	不合格

【００８６】
本開示例の溶接金属は、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、低温靭性において不合格となった。

【要約】
Ｃ：０．０３０～１．０００％、Ｓｉ：０．０３～０．５０％、Ｍｎ：４．１～３０．０％、Ｐ：０～０．０５０％、Ｓ：０～０．０５０％、Ｃｕ：０～５．０％、Ｎｉ：１．０～３０．０％、Ｃｒ：０～２０．０％、Ｍｏ：０～１０．０％、Ｎｂ：０～１．０００％、Ｖ：０～１．００％、Ｃｏ：０～１．００％、Ｐｂ：０～１．００％、Ｓｎ：０～１．００％、Ｗ：０～２０．０％、Ｍｇ：０～５．０％、Ａｌ：０～０．１００％、Ｃａ：０～５．０％、Ｔｉ：０～０．１００％、Ｂ：０～０．５０００％、ＲＥＭ：０～０．５００％、Ｚｒ：０～０．５００％、Ｎ：０～０．５０００％、Ｏ：０．００１０～０．１５００％、残部：Ｆｅ及び不純物、Ｍｎ＋Ｎｉ：５．０％以上、Ｎｂ＋Ｔｉ＋Ｖ＋Ａｌ：０．００５％以上である溶接金属。

フロントページの続き

(56)参考文献　国際公開第２０２２／１１３４７３（WO，Ａ１）
国際公開第２０２２／１８６０９７（WO，Ａ１）
国際公開第２０２２／１８６０９６（WO，Ａ１）
国際公開第２０２２／０５４４９２（WO，Ａ１）
特表２０１７－５０２８４２（ＪＰ，Ａ）
特開２０２２－８９３０４（ＪＰ，Ａ）
特公昭５５－７１１４（ＪＰ，Ｂ２）
特開平９－９９３９１（ＪＰ，Ａ）
特表２０２２－５１６１８１（ＪＰ，Ａ）
特公昭４２－６６４７（ＪＰ，Ｂ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２３Ｋ　３５／３０
Ｃ２２Ｃ　３８／００　－　３８／６０