

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6901868号
(P6901868)

(45) 発行日 令和3年7月14日(2021.7.14)

(24) 登録日 令和3年6月22日(2021.6.22)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 3 K 35/30 (2006.01)	B 2 3 K 35/30 3 2 O X
B 2 3 K 35/362 (2006.01)	B 2 3 K 35/30 3 2 O C
B 2 3 K 35/368 (2006.01)	B 2 3 K 35/362 B
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	B 2 3 K 35/368 F
C 2 2 C 38/08 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 2 B
請求項の数 12 (全 28 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2017-30282 (P2017-30282)
 (22) 出願日 平成29年2月21日 (2017. 2. 21)
 (65) 公開番号 特開2018-43288 (P2018-43288A)
 (43) 公開日 平成30年3月22日 (2018. 3. 22)
 審査請求日 令和1年9月30日 (2019. 9. 30)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-178802 (P2016-178802)
 (32) 優先日 平成28年9月13日 (2016. 9. 13)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国 (JP)

前置審査

(73) 特許権者 000001199
 株式会社神戸製鋼所
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号
 (74) 代理人 110002000
 特許業務法人栄光特許事務所
 (72) 発明者 石▲崎▼ 圭人
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号 株式会社神戸製鋼所内
 (72) 発明者 袁 倚旻
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号 株式会社神戸製鋼所内
 (72) 発明者 名古 秀徳
 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番
 4号 株式会社神戸製鋼所内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エレクトロスラグ溶接用ワイヤ、エレクトロスラグ溶接用フラックス及び溶接継手

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワイヤ全質量あたり

質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0 ~ 15.0%、

Fe : 79%以上

を含有し、残部が不可避的不純物からなり、

かつ、下記式(1)を満足することを特徴とするソリッドワイヤである、エレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$0.150 < C + Si / 30 + Mn / 20 + Ni / 60 < 0.300 \quad (1)$$

【請求項2】

ワイヤ全質量あたり

質量%で、

合金成分として、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0 ~ 15.0 %、

Fe : 82 %以上

を含有し、

Cr : 0.50 %以下であり、

残部が不可避的不純物からなるとともに、

スラグ形成剤 : 15 %以下 (0 %を含む) であり、

かつ、下記式 (1) を満足することを特徴とするフラックス入りワイヤである、エレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$0.170 \quad C + Si / 30 + Mn / 20 + Ni / 60 \quad 0.300 \quad (1)$$

【請求項 3】

ワイヤ全質量あたり

質量%で、

C : 0 %超、0.07 %以下、

Si : 0 %超、0.50 %以下、

Mn : 0 %超、1.0 %以下、

Ni : 6.0 ~ 15.0 %、

Fe : 79 %以上

を含有し、かつ、

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、および B からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、残部が不可避的不純物からなり、

かつ、下記式 (2) を満足することを特徴とするソリッドワイヤである、エレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$0.150 \quad C + Si / 30 + W / 30 + Mn / 20 + Cu / 20 + Ni / 60 + Cr / 20 + Mo / 15 + Nb / 10 + V / 10 + 5 \times B \quad 0.300 \quad (2)$$

【請求項 4】

ワイヤ全質量あたり

質量%で、

合金成分として、

C : 0 %超、0.07 %以下、

Si : 0 %超、0.50 %以下、

Mn : 0 %超、1.0 %以下、

Ni : 6.0 ~ 15.0 %、

Fe : 82 %以上

を含有し、かつ、

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、および B からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、

残部が不可避的不純物からなるとともに、

スラグ形成剤 : 15 %以下 (0 %を含む) であり、

かつ、下記式 (2) を満足することを特徴とするフラックス入りワイヤである、エレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$0.170 \quad C + Si / 30 + W / 30 + Mn / 20 + Cu / 20 + Ni / 60 + Cr / 20 + Mo / 15 + Nb / 10 + V / 10 + 5 \times B \quad 0.300 \quad (2)$$

【請求項 5】

合金成分として、

Ca、Mg、REM、Zr、Al、および Ti からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素をさらに含有し、

かつ、下記式 (3) を満足することを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$0.001 \quad 1.6 (Ca + Mg) + 1.25 (REM + Zr) + Al + 0.8 Ti$$

$$0.70 \quad (3)$$

10

20

30

40

50

【請求項6】

前記スラグ形成剤は、 SiO_2 、 CaO 、 CaF_2 、 BaF_2 、 MgO 、 Al_2O_3 、 MnO 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 FeO 、 Na_2O 、 K_2O 、および BaO からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、

かつ、下記式(4)を満足することを特徴とする、請求項2又は4に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

$$\frac{(\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{BaF}_2 + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + 0.5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{MnO} + \text{FeO}))} \geq 1.00 \quad (4)$$

(但し、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 MnO 、および FeO のいずれも含まない場合は >100 とする。)

10

【請求項7】

前記ワイヤにCuめっきが施されたことを特徴とする、請求項1～6のいずれか1項に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ。

【請求項8】

請求項1～7のいずれか1項に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤと共にエレクトロスラグ溶接に用いられるフラックスであって、

前記フラックスは、質量%で、

SiO_2 : 0～35%、

CaO : 5～60%、

CaF_2 : 3～50%、

BaF_2 : 0～20%、

MgO : 0～20%、

Al_2O_3 : 0～65%、

MnO : 0～20%、

TiO_2 : 0～10%、

ZrO_2 : 0～10%、

FeO : 0～5%、

Na_2O : 0～10%、

K_2O : 0～10%、

BaO : 0～20%、

20

30

を含有し、

かつ、下記式(5)を満足することを特徴とする、エレクトロスラグ溶接用フラックス

$$\frac{(\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{BaF}_2 + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + 0.5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{MnO} + \text{FeO}))} \geq 1.00 \quad (5)$$

(但し、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 MnO 、および FeO のいずれも含まない場合は >100 とする。)

【請求項9】

請求項6または7に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ、および請求項8に記載のエレクトロスラグ溶接用フラックスを用い、エレクトロスラグ溶接により作製される溶接継手であって、

前記溶接継手における溶接金属が、質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0～15.0%、

を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、

かつ、下記式(6)を満足することを特徴とする、溶接継手。

$$0.150 \text{ C} + \text{Si} / 30 + \text{Mn} / 20 + \text{Ni} / 60 \leq 0.300 \quad (6)$$

40

【請求項10】

50

請求項 6 または 7 に記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ、および請求項 8 に記載のエレクトロスラグ溶接用フラックスを用い、エレクトロスラグ溶接により作製される溶接継手であって、

前記溶接継手における溶接金属が、質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0 ~ 15.0%、

を含有し、かつ

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、および B からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、残部が Fe および不可避免的不純物からなり、

かつ、下記式(7)の範囲を満足することを特徴とする、溶接継手。

$$0.150 \leq C + Si / 30 + W / 30 + Mn / 20 + Cu / 20 + Ni / 60 + Cr / 20 + Mo / 15 + Nb / 10 + V / 10 + 5 \times B \leq 0.300 \quad (7)$$

【請求項 11】

前記溶接金属は、質量%で

O : 0%以上、0.025%以下

N : 0%以上、0.010%以下

をさらに含有することを特徴とする、請求項 9 または 10 に記載の溶接継手。

【請求項 12】

母材として 5 ~ 10% の Ni を含有する鋼板を用いることを特徴とする、請求項 9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の溶接継手。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、液化天然ガスなどを低温で貯蔵するタンクや使用する化学プラントに適用される極低温用鋼 5.0 ~ 10.0% Ni 鋼のエレクトロスラグ溶接に用いられるワイヤおよび当該溶接に用いるフラックス、並びにこれらの溶接材料を用いて得られる溶接継手に関する。

【背景技術】

【0002】

9% Ni 鋼は、高い強度と、液体窒素温度(- 196) 程度の優れた極低温靱性とを有している。そのため、9% Ni 鋼は、液化天然ガス(Liquefied Natural Gas、LNG) などのように低温で貯蔵される貯蔵タンクを溶接により製造するための母材として汎用されている。これらの貯蔵タンクでは、LNG などの液体の温度域である - 162 以下の温度域での極低温靱性に優れることが要求される。そのため、9% Ni 鋼を溶接して形成される溶接継手の溶接金属(溶接接合部)においても、同様に、優れた極低温靱性を有していることが要求される。

【0003】

従来、9% Ni 鋼の溶接に際し、Ni 基溶接材料を用いた被覆アーク溶接、サブマージアーク溶接、自動 TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接などの溶接方法が適用されてきた。これらの溶接方法で得られた溶接金属は極低温靱性に優れたものの、9% Ni 鋼母材よりも強度が低く、構造物の設計板厚は Ni 基溶接金属部の強度に合わせて板厚を厚くしなければならない課題がある。一方、鉄鋼各社は極低温用鋼の Ni 量削減を進めており、7% Ni 鋼や 5% Ni 鋼の実用化・検討がなされている。

【0004】

特許文献 1 ~ 4 には、極低温鋼用の溶接用ソリッドワイヤあるいはガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが提案されている。しかしながら、いずれの発明も純 Ar もしくは Ar に 2% 以下の酸素、炭酸ガスもしくは He ガスを用いたガスシールドアーク溶接で、入熱は 1.4 ~ 2.2 kJ/mm 程度と TIG 溶接と比較して能率は向上している

10

20

30

40

50

ものの、さらなる高能率の施工法が望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2015-9247号公報

【特許文献2】特開2016-2004号公報

【特許文献3】特開2016-93823号公報

【特許文献4】特許第5880662号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

本発明は、例えば入熱量が10kJ/mm以上の高能率であって、強度および極低温特性等の機械的特性に優れた溶接金属を有する溶接継手を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明者らは、溶接材料においてもNi基から5.0~10.0%Ni程度の溶接金属継手で所定の機械的特性が得られる高能率の溶接施工法を検討した。その結果、10.0kJ/mm以上の高能率な溶接が可能、かつ所定の機械的特性が得られるエレクトロスラグ溶接用ワイヤおよびフラックス、それらを用いた溶接金属化学成分系を見出した。

【0008】

20

すなわち、上記課題を解決し得る本発明のエレクトロスラグ溶接用ワイヤは、ワイヤ全質量あたり、質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0~15.0%、

Fe : 79%以上

を含有し、

かつ、下記式(1)を満足することを特徴とする、エレクトロスラグ溶接用ワイヤである。

30

$$0.150 \leq C + Si/30 + Mn/20 + Ni/60 \leq 0.300 \quad (1)$$

【0009】

または、ワイヤ全質量あたり、

質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0%超、1.0%以下、

Ni : 6.0~15.0%、

Fe : 79%以上

を含有し、かつ、

40

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、

かつ、下記式(2)を満足することを特徴とする、エレクトロスラグ溶接用ワイヤである。

$$0.150 \leq C + Si/30 + W/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + Nb/10 + V/10 + 5 \times B \leq 0.300 \quad (2)$$

【0010】

本発明の好ましい実施形態において、上記エレクトロスラグ溶接用ワイヤは、Ca、Mg、REM、Zr、Al、およびTiからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、

50

かつ、下記式(3)を満足することを特徴とする。

$$\frac{0.001}{0.70} \{ 1.6(Ca + Mg) + 1.25(REM + Zr) + Al + 0.8Ti \} \quad (3)$$

【0011】

本発明の好ましい実施形態において、上記エレクトロスラグ溶接用ワイヤは、ソリッドワイヤまたはフラックス入りワイヤである。

【0012】

本発明の好ましい実施形態において、エレクトロスラグ溶接用ワイヤは、ワイヤ全質量に対し、スラグ形成剤を0%超、15%以下含み、かつ当該スラグ形成剤は、SiO₂、CaO、CaF₂、BaF₂、MgO、Al₂O₃、MnO、TiO₂、ZrO₂、FeO、Na₂O、K₂O、およびBaOからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、かつ下記式(4)を満足することを特徴とするフラックス入りワイヤである。

$$\frac{(CaO + CaF_2 + BaF_2 + MgO + BaO + Na_2O + K_2O)}{(SiO_2 + 0.5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2 + MnO + FeO))} \geq 1.00 \quad (4)$$

(但し、SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、ZrO₂、MnO、およびFeOのいずれも含まない場合は>100とする。)

【0013】

本発明の好ましい実施形態において、上記エレクトロスラグ溶接用ワイヤは、Cuめっきが施されたものである。

【0014】

上記課題を解決し得る本発明のフラックスは、上記のいずれかに記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤと共にエレクトロスラグ溶接に用いられるフラックスであって、質量%で

SiO₂ : 0 ~ 35%、
 CaO : 5 ~ 60%、
 CaF₂ : 3 ~ 50%、
 BaF₂ : 0 ~ 20%、
 MgO : 0 ~ 20%、
 Al₂O₃ : 0 ~ 65%、
 MnO : 0 ~ 20%、
 TiO₂ : 0 ~ 10%、
 ZrO₂ : 0 ~ 10%、
 FeO : 0 ~ 5%、
 Na₂O : 0 ~ 10%、
 K₂O : 0 ~ 10%、
 BaO : 0 ~ 20%、

を含有し、

かつ、下記式(5)を満足することを特徴とする、エレクトロスラグ溶接用フラックスである。

$$\frac{(CaO + CaF_2 + BaF_2 + MgO + BaO + Na_2O + K_2O)}{(SiO_2 + 0.5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2 + MnO + FeO))} \geq 1.00 \quad (5)$$

(但し、SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、ZrO₂、MnO、およびFeOのいずれも含まない場合は>100とする。)

【0015】

また、上記課題を解決し得る本発明の溶接継手は、上記のいずれかに記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ、および前記エレクトロスラグ溶接用フラックスを用い、エレクトロスラグ溶接により作製される溶接継手であって、

前記溶接継手における溶接金属が、質量%で、

C : 0%超、0.07%以下、

Si : 0%超、0.50%以下、

Mn : 0 % 超、1 . 0 % 以下、

Ni : 6 . 0 ~ 15 . 0 %、

を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、

かつ、下記式(6)を満足することを特徴とする、溶接継手である。

$$0 . 150 \quad C + Si / 30 + Mn / 20 + Ni / 60 \quad 0 . 300 \quad (6)$$

【0016】

または、上記課題を解決し得る本発明の溶接継手は、上記のいずれかに記載のエレクトロスラグ溶接用ワイヤ、および前記エレクトロスラグ溶接用フラックスを用い、エレクトロスラグ溶接により作製される溶接継手であって、

前記溶接継手における溶接金属が、質量%で、

C : 0 % 超、0 . 07 % 以下、

Si : 0 % 超、0 . 50 % 以下、

Mn : 0 % 超、1 . 0 % 以下、

Ni : 6 . 0 ~ 15 . 0 %、

を含有し、かつ

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、

かつ、下記式(7)の範囲を満足することを特徴とする、溶接継手である。

$$0 . 150 \quad C + Si / 30 + W / 30 + Mn / 20 + Cu / 20 + Ni / 60 + Cr / 20 + Mo / 15 + Nb / 10 + V / 10 + 5 \times B \quad 0 . 300 \quad (7)$$

【0017】

本発明の好ましい実施形態において、上記溶接継手は、前記溶接金属が、質量%で

O : 0 % 超、0 . 025 % 以下

N : 0 % 超、0 . 010 % 以下

をさらに含有することを特徴とする。

【0018】

本発明の好ましい実施形態において、前記溶接継手は、母材として5 ~ 10 %のNiを含有する鋼板を用いるものである。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、入熱量が例えば10 kJ / mm以上の大入熱溶接時であっても強度および極低温靱性に優れた溶接金属を有する溶接継手を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】図1は、実施例における開先溶接の概略構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

本発明者らは、上記課題を解決するため、6 . 0 ~ 15 . 0 % Ni程度の溶接材料を用いた大入熱溶接法として、従来検討されていなかったエレクトロスラグ溶接を適用して検討を行なった。その結果、成分が適切に調整された溶接材料を用いれば、入熱量が例えば10 kJ / mm以上の大入熱溶接時であっても、強度および極低温靱性に優れた溶接金属を有する溶接継手が得られることを見出し、本発明を完成した。

【0022】

ここでエレクトロスラグ溶接は、溶融したスラグ浴の中に溶接ワイヤを入れ、主に溶融スラグのジュール熱を熱源として母材と溶接ワイヤとを溶融させて溶接する方法である。エレクトロスラグ溶接によれば、造船や産業機械分野などのように板厚が大きい構造物の立向き溶接を1パスで行なうことが可能である。上記構造物の立向き溶接は、これまでエレクトロガスアーク溶接で行なわれてきたが、溶接作業者にとってアーク放射熱、ヒューム、スパッタ等の作業環境上の問題があった。さらに板厚が増すとシールドが劣化し、溶接部の機械的性能が劣化するなどの問題もある。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

これに対し、エレクトロスラグ溶接では、エレクトロガスアーク溶接のように露出したアークではなく溶融スラグ内で熱が発生してワイヤおよび母材を溶融するので、アーク放射熱が発生せず、またヒューム、スパッタの発生も少なく、作業環境が改善される。また溶融スラグで溶接金属を大気から遮蔽するのでシールドガスが不要であり、板厚が大きくなってもシールド効果が劣化することがなく、大気に存在する窒素などの溶融金属内への侵入を板厚に関係なく効果的に防止できるので、溶接金属の機械的な劣化も発生しにくい。

【 0 0 2 4 】

本明細書では、エレクトロスラグ溶接用ワイヤを単にワイヤと呼ぶ場合がある。

10

【 0 0 2 5 】

以下、本発明について詳しく説明する。以下、%は特に断りのない限り、質量%を意味する。また、「～」とはその下限の値以上、その上限の値以下であることを意味する。

【 0 0 2 6 】

(エレクトロスラグ溶接用ワイヤ)

本発明に係るエレクトロスラグ溶接用ワイヤの成分は以下のとおりである。なお、本発明では、後述するようにフラックス入りワイヤが好ましく用いられるが、その場合におけるエレクトロスラグ溶接用ワイヤの成分は、フラックス入りワイヤに含まれる各成分の質量%を当該フラックス入りワイヤの全質量に対する割合で規定したものである。なお、フラックス入りワイヤの全質量とはフープとフラックスとの全質量を合わせたものをいう。

20

【 0 0 2 7 】

C : 0 % 超、0 . 0 7 % 以下

C は、固溶強化および化合物を形成して強度確保に寄与する元素である。上記作用を有効に発揮させるため、C 量は 0 . 0 0 3 % 以上であることが好ましい。但し、C 量を過剰に添加すると化合物粒子数の増加を招き、当該化合物粒子がシャルピー試験時のポイド形成の起点として作用して極低温靱性が低下するため、C 量を 0 . 0 7 % 以下とする。C 量は、0 . 0 5 % 以下であることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

Si : 0 % 超、0 . 5 0 % 以下

Si は脱酸素元素であり、溶接金属中の酸素濃度を低下させることで極低温靱性の向上作用を有する。上記作用を有効に発揮させるため、Si 量は 0 . 0 0 3 % 以上であることが好ましい。但し、Si の過剰添加は強度の過大な上昇を招き、極低温靱性が低下するため、Si 量を 0 . 5 0 % 以下とする。Si 量は、0 . 4 0 % 以下であることが好ましい。

30

【 0 0 2 9 】

Mn : 0 % 超、1 . 0 % 以下

Mn は、固溶強化により強度確保に寄与する元素である。Mn 量が不足すると、所定の強度が得られないため、Mn 量は 0 . 0 1 % 以上であることが好ましい。但し、Mn の過剰添加は強度の過大な上昇を招き、極低温靱性が低下するため、Mn 量を 1 . 0 % 以下とする。Mn 量は、0 . 9 % 以下であることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

Ni : 6 . 0 ~ 1 5 . 0 %、

Ni は、低温靱性の確保に必須の元素であり、Ni 量を 6 . 0 % 以上とする。Ni 量は 7 . 0 % 以上であることが好ましい。但し、Ni の過剰添加は強度の上昇を招き、極低温靱性が低下するため、Ni 量を 1 5 . 0 % 以下とする。Ni 量は、1 4 . 0 % 以下であることが好ましい。

40

【 0 0 3 1 】

Fe : 7 9 % 以上

Fe は対象母材と同様、基本成分であり、母材と溶接金属とからなる継手の成分的連続性を確保するため、7 9 % 以上とする。7 9 % 未満の場合、他の合金成分あるいはスラグ形成剤を規定以上添加する必要性が生じ、結果として溶接金属の強度が過大となり、極低温

50

靱性が低下する。Fe量は、82%以上であることが好ましい。

【0032】

前述のとおり、各成分の作用については述べたが、規定の成分範囲であっても必要とする機械的性質を満足しない場合があった。そこで発明者らがさらに鋭意検討・試験を行った結果、大入熱のエレクトロスラグ溶接において、溶接金属の組織粗大化を抑え、微細な組織が得られ、結果機械的性質を満足する合金成分の関係式(1)を見出した。なお、式(1)中のC、Si等は、ワイヤ全質量あたりのそれぞれの含有量(質量%)であるが、単位を省略している。後述する式(2)~(3)においても同様である。

$$0.150 \leq C + Si/30 + Mn/20 + Ni/60 \leq 0.300 \quad (1)$$

式(1)のパラメータが0.150未満の場合、所定の強度が得られない。式(1)のパラメータは、0.160以上が好ましく、0.170以上がより好ましい。一方、式(1)のパラメータが0.300を超えると溶接金属の強度が過大となり、極低温靱性が低下する。式(1)のパラメータは、0.290以下が好ましく、0.280以下がより好ましい。

【0033】

同様に、規定の成分範囲であっても必要とする機械的性質を満足しない場合があった。そこで発明者らがさらに鋭意検討・試験を行った結果、大入熱のエレクトロスラグ溶接において、さらに、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、溶接金属の組織粗大化を抑え、微細な組織が得られ、結果機械的性質を満足する合金成分の関係式(2)を見出した。

$$0.150 \leq C + Si/30 + W/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + Nb/10 + V/10 + 5 \times B \leq 0.300 \quad (2)$$

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBは強度確保に寄与する元素である。式(2)のパラメータが0.150未満の場合、所定の強度が得られない。式(2)のパラメータは、0.160以上が好ましく、0.170以上がより好ましい。一方、式(2)のパラメータが0.300を超えると溶接金属の強度が過大となり、極低温靱性が低下する。式(2)のパラメータは、0.290以下が好ましく、0.280以下がより好ましい。

【0034】

上述したCu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBの含有量のより好ましい範囲は、以下に示す通りである。

より好ましい範囲

Cu : 0.45%以下
 Cr : 0.50%以下
 Mo : 0.55%以下
 W : 0.50%以下
 Nb : 0.20%以下
 V : 0.20%以下
 B : 0.01%以下

【0035】

また、Ca、Mg、REM、Zr、Al、およびTiからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、

$$0.001 \leq 1.6(Ca + Mg) + 1.25(REM + Zr) + Al + 0.8Ti \leq 0.70 \quad (3)$$

を満足することが好ましい。

【0036】

Ca、Mg、REM、Zr、Al、およびTiは脱酸素元素であり、溶接金属中の酸素濃度を低下させて極低温靱性の改善作用を有する。このような作用を有効に発揮させるため、式(3)のパラメータが0.001以上であることが好ましい。しかしながら、本発明のように入熱量の大きい大入熱施工を対象とする場合、前述したように溶接後の冷却速度が低いため、酸化物の凝集・合体による粗大化が進行しやすい。そのため、過剰に添加す

10

20

30

40

50

ると粗大酸化物が増加し、極低温靱性確保の観点から、式(3)のパラメータは0.70以下が好ましい。また、式(3)のパラメータは0.10以上であることがより好ましい。

【0037】

上述したCa、Mg、REM、Zr、Al、およびTiの含有量のより好ましい範囲は、以下に示す通りである。

より好ましい範囲

Ca: 0.0005 ~ 0.20%

Mg: 0.0005 ~ 0.20%

REM: 0.001 ~ 0.20%

Zr: 0.001 ~ 0.15%

Al: 0.001 ~ 0.20%

Ti: 0.001 ~ 0.10%

10

【0038】

本発明に係るエレクトロスラグ溶接用ワイヤの組成は上記のとおりであり、残部は不可避免的不純物である。不可避免的不純物として、例えばP、S、As、Sb、Sn、Bi、O、Nなどが挙げられる。

【0039】

本発明のエレクトロスラグ溶接用ワイヤは、通電性を高めるため、表面にCuめっきが施されていることが好ましい。そのCuめっき量は、0.10%以上0.30%以下であることが好ましい。

20

【0040】

本発明のエレクトロスラグ溶接用ワイヤには、ソリッドワイヤ及びフラックス入りワイヤの両方が含まれる。このうちフラックス入りワイヤは、外皮(以下、フープともいう)の内側にフラックスが充填されたものであり、成分設計がし易く、また溶着速度および溶着効率などにも優れている。

【0041】

上記フープの組成は、フラックス入りワイヤの組成が上記範囲であれば特に限定されない。

【0042】

フラックス入りワイヤのフラックスは酸化物・フッ化物系および金属系に大別されるが、金属系フラックス入りワイヤは特に、メタルコアドワイヤ(MCW: Metal Core Wire)と呼ばれることがある。

30

【0043】

フラックス入りワイヤのフラックス充填率は、5~25%であることが好ましい。これらの範囲を外れると、作業性が劣化するなどの問題がある。ここで上記フラックス充填率は、フープ内に充填されるフラックスの充填率を、ワイヤの全質量に対する割合で規定したものである。なお、ワイヤの全質量とはフープとフラックスの全質量を合わせたものをいう。

【0044】

上記フラックス入りワイヤのフラックスは、酸化物・フッ化物系および金属系に大別され、金属系は上述したワイヤ組成の範囲を満足し、酸化物・フッ化物(スラグ形成剤)は、ワイヤ全質量に対し、0%超、15%以下含まれ、かつSiO₂、CaO、CaF₂、BaF₂、MgO、Al₂O₃、MnO、TiO₂、ZrO₂、FeO、Na₂O、K₂O、およびBaOからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有し、かつ下記式(4)を満足することを特徴とする。なお、式(4)中のCaO、CaF₂等の各成分の表記は、ワイヤ全質量あたりのそれぞれの含有量(質量%)である。

40

$$\frac{(CaO + CaF_2 + BaF_2 + MgO + BaO + Na_2O + K_2O)}{(SiO_2 + 0.5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2 + MnO + FeO))} \geq 1.00 \quad (4)$$

(但し、SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、ZrO₂、MnO、およびFeOのいずれも

50

含まない場合は > 100 とする。)

【0045】

スラグ形成剤の使用により、エレクトロスラグ溶接時に当該スラグ形成剤が溶融してスラグ化し、スラグが溶融金属を保護し、大気からの窒素および酸素の混入を防止する。さらに、そのスラグ形成剤の組成式(4)の範囲に規定することにより、溶接金属の酸素量が低減し、極低温靱性が向上する。式(4)のパラメータが1.00以上であることが好ましく、1.30以上であることがより好ましい。また、スラグ形成剤には CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 などの炭酸塩をフープ内に充填されるフラックス充填剤として用いてもよいが、溶接時に炭酸塩が熱により分解し、 CO_2 ガスを発生し、溶接金属中の酸素量が増加し、極低温靱性に影響を及ぼす。従って、好ましくは、炭酸塩をフラックス充填剤に使用しない。なお、炭酸塩を用いる場合、上記式(4)のパラメータの算出には炭酸塩が熱で分解することを考慮し、実際の炭酸塩重量から CO_2 分を除き、それぞれ CaCO_3 を CaO 量に、 BaCO_3 を BaO 量に、 MgCO_3 を MgO 量に換算する。

10

【0046】

フラックス入り溶接ワイヤの製造方法は特に限定されず、一般的な工程で製造すればよい。例えば、軟鋼のフープをU字状に成型し、U字状成型フープにフラックスを充填した後、フラックスを内部に充填した筒状型に成型し、目的の径まで伸線して製造される。

【0047】

(フラックス)

エレクトロスラグ溶接では、溶接が進むにつれて減少する溶融スラグを補うためにフラックスが追加投入されるが、このフラックスを本明細書では単にフラックスという。エレクトロスラグ溶接では、溶接が進行するにつれて溶融金属は冷却されて溶接金属となり、溶融スラグ浴の一部は溶融スラグ層となるが、溶接の進行につれて溶融スラグ層が冷却されて固化スラグとなり、溶融スラグが消費される。この溶融スラグ浴の減少を補うため、フラックスが用いられる。フラックスは、溶融型フラックスとポンド型(焼成型)フラックスとに大別される。溶融型フラックスは、種々の原料を電気炉などで溶解し、粉碎することにより製造される。一方、焼成型フラックスは、種々の原料をケイ酸アルカリなどのバインダーにより結合し、造粒した後、焼成することにより製造される。焼成型フラックスは前述の炭酸塩を原料として用いる場合があるが、溶接時に炭酸塩が熱により分解し、 CO_2 ガスを発生し、溶接金属中の酸素量が増加し、極低温靱性に影響を及ぼす。従って、好ましくは溶融型フラックスを用いる。

20

30

【0048】

本発明に用いられるフラックスの組成は以下のとおりである。

【0049】

SiO_2 : 0 ~ 35 %

SiO_2 は酸性成分であり、溶融スラグの粘性および融点を調整する成分である。本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 SiO_2 を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 SiO_2 量が35%を超えると、溶融スラグの粘性が高くなり、溶込み不良が生じるため、 SiO_2 量は35%以下が好ましく、30%以下がより好ましい。

40

【0050】

CaO : 5 ~ 60 %

CaO は塩基性成分であり、溶融スラグの粘性および融点を調節するために有効な成分であると共に、溶接金属の酸素量を低減させる効果が高い。 CaO 量が5%未満の場合、溶接金属の酸素量が増加するため、 CaO 量は5%以上であることが好ましく、10%以上がより好ましい。但し、 CaO 量が60%を超えると、アンダーカットおよびスラグ巻き込みが発生するため、 CaO 量は60%以下が好ましく、55%以下がより好ましい。

【0051】

CaF_2 : 3 ~ 50 %

CaF_2 も塩基性成分であり、溶融スラグの粘性および融点を調節するために有効な成

50

分であると共に、溶接金属の酸素量を低減させる効果が高い。 CaF_2 量が3%未満の場合、溶接金属の酸素量が増加するため、 CaF_2 量は3%以上が好ましく、5%以上がより好ましい。但し、 CaF_2 量が50%を超えると、アンダーカットおよびスラグ巻き込みが発生し易くなると共に、溶接時にフッ化ガスが発生して溶接が安定しないため、 CaF_2 量は50%以下が好ましく、45%以下がより好ましい。

【0052】

BaF_2 : 0 ~ 20%

BaF_2 も塩基性成分であり、溶融スラグの粘性および融点を調節するために有効な成分であると共に、溶接金属の酸素量を低減させる効果が高い。本発明では、他成分で粘性および融点、さらには溶接金属酸素量の調整が可能であり、 BaF_2 を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 BaF_2 量が20%を超えると溶融スラグの融点が低くなり過ぎて粘性が不足し、摺動式銅当て金と溶接金属との間から溶融スラグが排出しやすくなり過ぎ、溶融スラグによる溶融金属の抑えが効かなくなり溶落する。このため、 BaF_2 量は20%以下が好ましく、15%以下がより好ましい。

10

【0053】

MgO : 0 ~ 20%

MgO も塩基性成分であり、溶融スラグの粘性および融点を調整するために有効な成分である。本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 MgO を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 MgO 量が20%を超えると溶融スラグの融点が高くなり過ぎ粘性も高くなる結果、溶込み不良が生じるため、 MgO 量は20%以下であることが好ましく、15%以下がより好ましい。

20

【0054】

Al_2O_3 : 0 ~ 65%

Al_2O_3 は溶融スラグの粘性および融点を調整するために有効な成分である。本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 Al_2O_3 を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 Al_2O_3 量が65%を超えると溶融スラグの粘性が高くなり、溶込み不良が生じるため、65%以下であることが好ましく、60%以下がより好ましい。また、 Al_2O_3 量は、3%以上が好ましい。

【0055】

MnO : 0 ~ 20%

MnO は、溶融スラグの粘性および融点を調整するために有効な成分である。本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 MnO を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 MnO 量が20%を超えると、溶融スラグの融点が低くなり過ぎて粘性が不足し、摺動式銅当て金と溶接金属との間から溶融スラグが排出しやすくなり過ぎ、溶融スラグによる溶融金属の抑えが効かなくなり溶落する。このため、 MnO 量は20%以下が好ましく、15%以下がより好ましい。

30

【0056】

TiO_2 : 0 ~ 10%および ZrO_2 : 0 ~ 10%

TiO_2 および ZrO_2 は、溶融スラグの融点を調整するために有効な成分である。本発明では、他成分で融点の調整が可能であり、 TiO_2 および ZrO_2 を含まなくてもよい。一方、含有する場合、 TiO_2 および ZrO_2 がそれぞれ10%を超えると、融点付近で粘度が急激に高くなるため、スラグ巻き込みが発生しやすくなる。そのため、 TiO_2 および ZrO_2 量はそれぞれ10%以下が好ましく、5%以下がより好ましい。

40

【0057】

FeO : 0 ~ 5%

FeO は、溶融スラグの粘性および融点を調整するために有効な成分であると共に、溶接金属の酸素量を低減させる効果が高い。本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 FeO を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 FeO 量が5%を超えると、ビード表面にスラグが生成して焼付きやすくなるため、5%以下が好ましく、3%以下がより好ましい。

50

【0058】

Na_2O : 0 ~ 10 %

Na_2O は、熔融スラグの粘性を調整するために非常に有効な成分である。ただし、本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 Na_2O を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 Na_2O 量が10%を超えると、熔融スラグの融点が低くなり過ぎて粘性が不足し、摺動式銅当て金と溶接金属との間から熔融スラグが排出しやすくなり過ぎ、熔融スラグによる熔融金属の抑えが効かなくなり溶落するため、10%以下が好ましく、より好ましくは7%以下である。

【0059】

K_2O : 0 ~ 10 %

K_2O は、熔融スラグの粘性を調整するために非常に有効な成分である。ただし、本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 K_2O を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 K_2O 量が10%を超えると、熔融スラグの融点が低くなり過ぎて粘性が不足し、摺動式銅当て金と溶接金属との間から熔融スラグが排出しやすくなり過ぎ、熔融スラグによる熔融金属の抑えが効かなくなり溶落する。このため、 K_2O 量は、10%以下が好ましく、7%以下がより好ましい。

【0060】

BaO : 0 ~ 20 %

BaO は、塩基性成分であり、熔融スラグの粘性および融点を調節するために有効な成分であると共に、溶接金属の酸素量を低減させる効果が高い。ただし、本発明では、他成分で粘性および融点の調整が可能であり、 BaO を含まなくてもよい。一方、含有する場合は、 BaO 量が20%を超えると、熔融スラグの融点が低くなり過ぎて粘性が不足し、摺動式銅当て金と溶接金属との間から熔融スラグが排出しやすくなり過ぎ、熔融スラグによる熔融金属の抑えが効かなくなり溶落する。このため、 BaO 量は、20%以下が好ましく、15%以下がより好ましい。

【0061】

フラックスの組成は、溶接金属の酸素量低減に効果的であり、溶接金属部の靱性向上に繋がるため、各成分量の限定範囲内かつ式(5)を満足することが好ましい。なお、式(5)中の CaO 、 CaF_2 等の各成分の表記は、フラックス全質量あたりのそれぞれの含有量(質量%)である。

$$\frac{(\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{BaF}_2 + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + 0.5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{MnO} + \text{FeO}))} \geq 1.00 \quad (5)$$

(但し、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 MnO 、および FeO のいずれも含まない場合は >1.00 とする。)

【0062】

本発明に係るフラックスの組成は上記のとおりであり、残部はP、S、As、Sb、Sn、Bi等の不可避的不純物である。

【0063】

(溶接継手)

本発明の溶接継手は、上記エレクトロスラグ溶接用ワイヤおよびフラックスを用い、エレクトロスラグ溶接により作製される。上記溶接継手における溶接金属の組成(各成分量)は、残部がFeおよび不可避的不純物である点を除き、エレクトロスラグ溶接用ワイヤの組成と同じであって、各成分の作用効果も同一である。したがって、以下の記載において、前述したエレクトロガス溶接用ワイヤと重複する成分の作用効果は、説明の重複を避けるため省略して、好ましい範囲のみ記載する。

【0064】

C : 0%超、0.07%以下

好ましい上限 : 0.06%

【0065】

Si : 0%超、0.50%以下

10

20

30

40

50

好ましい上限：0.40%、より好ましくは0.30%

【0066】

Mn：0%超、1.0%以下

好ましい上限：0.8%

【0067】

Ni：6.0～15.0%、

好ましい下限：7.0%、

好ましい上限：14.0%、より好ましくは12.0%

【0068】

また、上記溶接継手における溶接金属は、下記式(6)を満足する。なお、式(6)中のC、Si等は、溶接金属全質量あたりのそれぞれの含有量(質量%)であるが、単位を省略している。

$$0.150 \leq C + Si / 30 + Mn / 20 + Ni / 60 \leq 0.300 \quad (6)$$

発明者らは、上記ワイヤにおける式(1)と同様の観点から、溶接金属において式(6)を満たすことの技術的意義を見出した。式(6)のパラメータが0.150未満の場合、所定の強度が得られない。式(6)のパラメータは、0.160以上が好ましく、0.170以上がより好ましい。一方、式(6)のパラメータが0.300を超えると溶接金属の強度が過大となり、極低温靱性が低下する。式(6)のパラメータは、0.290以下が好ましく、0.280以下がより好ましい。

【0069】

また、上記溶接継手における溶接金属は、さらに、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有する場合には、下記式(7)を満足する。なお、式(7)中のC、Si等は、溶接金属全質量あたりのそれぞれの含有量(質量%)であるが、単位を省略している。

$$0.150 \leq C + Si / 30 + W / 30 + Mn / 20 + Cu / 20 + Ni / 60 + Cr / 20 + Mo / 15 + Nb / 10 + V / 10 + 5 \times B \leq 0.300 \quad (7)$$

Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBは強度確保に寄与する元素である。発明者らは、上記ワイヤにおける式(2)と同様の観点から、溶接金属において式(7)を満たすことの技術的意義を見出した。式(7)のパラメータが0.150未満の場合、所定の強度が得られない。式(7)のパラメータは、0.160以上が好ましく、0.170以上がより好ましい。一方、式(7)のパラメータが0.300を超えると溶接金属の強度が過大となり、極低温靱性が低下する。式(7)のパラメータは、0.290以下が好ましく、0.280以下がより好ましい。

なお、溶接金属中におけるCu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBのそれぞれの好ましい含有量は、上記ワイヤにおける好ましい含有量と同じである。

【0070】

O：0%超、0.025%以下

Oは酸化物を形成し、当該酸化物がシャルピー試験時のボイド形成の起点として作用するため、極低温靱性が低下する。したがって、O量は、0.025%以下とすることが好ましく、望ましくは含有しない。

【0071】

N：0%超、0.010%以下

Nは固溶元素として溶接金属部のマトリックスを強化する一方、脆性破壊を誘発する元素でもあり、極低温靱性が低下する。したがって、N量は、0.010%以下とすることが好ましく、望ましくは含有しない。

【0072】

本発明に係る溶接金属の基本組成は上記のとおりであり、残部は、鉄およびワイヤから添加した、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、B、および脱酸剤として添加したCa、Mg、REM、Al、Zr、Tiの一部がスラグとして排出されず溶接金属中に残ったもの、さらには不可避免的不純物である。不可避免的不純物として、例えばP、S、As、Sb、

10

20

30

40

50

S n、B i等が挙げられる。

【0073】

上記溶接継手の作製に用いられる母材は、5～10%のNiを含有する鋼板を用いることが好ましい。Ni量が5%未満では、極低温靱性が確保できないなどの問題がある。Ni量は、より好ましくは5.2%以上であり、更に好ましくは6.5%以上である。但し、Ni量が10%を超えると鋼材コストが上昇するため、Ni量は10%以下であることが好ましい。Ni量は、より好ましくは9.5%以下である。

【実施例】

【0074】

本実施例では、母材として表1に示す組成（残部は不可避的不純物である）を有する鋼板、表2～5に示す組成を有するエレクトロスラグ溶接用ワイヤ、および表6に示す組成を有するフラックスを用いて下記の溶接条件にて溶接金属を作製した。なお、表1～6および以下に示す表7～10において、各成分組成における“0”なる表記は、組成分析における検出限界値未満であることを意味する。

【0075】

また、表2～5に示すスラグ量は、ワイヤ中に含まれるスラグ形成剤の量であり、その組成から式（4）にて算出した値を記載している。試験したワイヤは、フラックス入りワイヤ、MCW、ソリッドワイヤがあり、MCWおよびソリッドワイヤの場合は備考欄に示し、フラックス入りワイヤの場合は空欄とした。また、Cuめっきの有無は備考欄に示した。Cuめっき量は、0.10～0.30%の範囲とし、表2～5のワイヤCu量は、Cuめっき量とめっき以外にワイヤに合金として含有する量の総和を示している。

また、表2～5に示す各ワイヤにおいて、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBのいずれも含有しないワイヤについては、式（1）のパラメータ値のみを記載し、式（2）のパラメータ値は空欄としている。一方、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有するワイヤについては、式（2）のパラメータ値のみを記載し、式（1）のパラメータ値は空欄としている。

【0076】

【表1】

表1 母材化学成分

記号	C	Si	Mn	Ni	Fe
9N	0.030	0.25	0.60	9.50	89.6
7N	0.050	0.22	0.69	7.32	91.7
5N	0.045	0.24	0.77	5.33	93.6

【0077】

10

20

30

【表 2】

ワイヤの化学成分

No.	ワイヤ中の化学成分										Ti	Al	Zr	REM	Mg	Ca	B	V	Nb	W	Mo	Cr	Cu	Fe	Ni	Mn	Si	C	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	備考
	87	83	85	86	84	83	84	86	85	91																							
No.1	0.048	0.23	0.45	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.235	0.000	2.8	>100				
No.2	0.020	0.19	0.15	13.9	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.266	0.376	2.4	>100				
No.3	0.033	0.13	0.14	14.0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.278	0.000	0.6	>100				
No.4	0.043	0.003	0.27	10.9	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.238	0.000	2.7	>100				
No.5	0.031	0.39	0.18	9.4	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.210	0.000	6.9	3.71				
No.6	0.034	0.01	0.01	9.2	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.188	0.000	6.6	3.71				
No.7	0.030	0.30	0.21	11.0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.234	0.000	2.4	>100				
No.8	0.025	0.14	0.80	11.3	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.258	0.000	2.6	>100				
No.9	0.021	0.05	0.72	8.0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.192	0.000	0.1	>100				
No.10	0.023	0.07	0.16	13.0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.000	1.6	10.11				
No.11	0.019	0.17	0.52	10.6	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.227	0.000	4.6	3.71				
No.12	0.017	0.17	0.05	8.7	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.170	0.000	8.0	1.90				
No.13	0.033	0.34	0.51	12.5	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.278	0.000	1.5	10.11				
No.14	0.009	0.15	0.11	8.5	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.171	0.000	8.1	1.90				
No.15	0.024	0.28	0.35	9.5	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.279	0.000	3.7	>100				
No.16	0.042	0.16	0.04	9.0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.229	0.000	4.2	1.90				
No.17	0.040	0.17	0.20	10.2	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.249	0.000	4.8	1.90				
No.18	0.007	0.18	0.01	11.0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.213	0.000	3.2	>100				
No.19	0.006	0.02	0.21	10.4	87	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.212	0.000	1.8	>100	Cuめっきワイヤ			
No.20	0.016	0.12	0.15	10.5	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.203	0.144	5.0	3.71				
No.21	0.049	0.11	0.09	11.5	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.249	0.168	1.0	>100				
No.22	0.046	0.12	0.10	11.4	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.245	0.351	0.0	--	MCW			
No.23	0.013	0.09	0.09	11.7	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	0.954	0.0	--	ソリッド			
No.24	0.044	0.28	0.08	9.7	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.219	0.401	3.5	>100				
No.25	0.012	0.15	0.07	13.4	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.244	0.452	3.9	>100				

【 表 3 】

ワイヤの化学成分

ワイヤ中													備考									
C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	Ca	Mg	REM	Zr	Al	Ti	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	
No.26	0.022	0.17	13.4	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0.11	0.20	0	0.258	0.466	3.8	>100	
No.27	0.027	0.21	10.9	87	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0.20	0	0.03	0	0.221	0.594	1.2	>100	
No.28	0.021	0.20	11.0	84	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.20	0.04	0	0.02	0	0.218	0.454	4.2	10.11	
No.29	0.024	0.18	11.5	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.232	0.110	1.9	>100	
No.30	0.028	0.08	10.8	87	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0.07	0	0	0	0.218	0.216	1.7	>100	
No.31	0.019	0.10	10.8	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0.195	0.192	3.7	>100	
No.32	0.017	0.14	11.0	86	0	0.35	0.34	0.36	0	0	0.002	0.08	0.08	0.07	0	0.03	0	0.275	0.374	1.3	>100	
No.33	0.008	0.04	8.8	83	0	0	0.12	0	0	0	0	0.07	0	0.07	0	0.09	0	0.171	0.272	7.6	10.11	
No.34	0.008	0.07	8.7	84	0	0	0	0.04	0	0	0.005	0.11	0.09	0.12	0	0.12	0	0.189	0.590	6.5	15.00	
No.35	0.022	0.18	13.0	84	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0.04	0	0.04	0	0	0.275	0.104	2.1	>100	
No.36	0.024	0.21	13.3	85	0	0.35	0	0	0	0	0	0.16	0.15	0.16	0	0	0	0.277	0.696	0.4	>100	
No.37	0.021	0.22	11.9	87	0	0.25	0	0	0	0	0	0.15	0.1	0	0	0.08	0	0.247	0.480	0.0	-	MCW
No.38	0.013	0.04	9.6	90	0.15	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0.03	0	0	0.02	0.200	0.054	0.0	-	ソリッド、Cuめっきワイヤ
No.39	0.008	0.07	10.8	88	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.08	0.10	0	0.13	0	0.198	0.575	0.4	1.30	
No.40	0.022	0.18	11.0	87	0	0.25	0	0	0	0	0	0.11	0.07	0.12	0	0.14	0	0.230	0.578	0.9	1.30	
No.41	0.027	0.07	11.3	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.224	0.000	0.4	1.30	
No.42	0.022	0.09	12.8	86	0	0	0.05	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.253	0.000	0.7	1.30	
No.43	0.031	0.10	8.2	83	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0.07	0	0.03	0	0.176	0.374	8.2	10.11	
No.44	0.018	0.06	8.1	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.160	0.000	9.6	3.71	
No.45	0.019	0.08	9.6	88	0	0	0	0	0.05	0.05	0	0.08	0.09	0.08	0	0.08	0	0.195	0.452	1.7	>100	
No.46	0.013	0.15	9.8	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.09	0.08	0	0	0.190	0.452	2.4	>100	
No.47	0.003	0.14	8.7	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.169	0.000	5.7	10.11	
No.48	0.011	0.18	8.5	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.162	0.000	4.1	15.00	
No.49	0.047	0.37	12.1	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.290	0.000	2.8	>100	
No.50	0.009	0.19	8.2	87	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.161	0.000	4.4	1.90	

【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

【表 4】

No.	ワイヤの化学成分														ワイヤ中			備考						
	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	Ca	Mg	REM	Zr	Al		Ti	式(1)	式(2)	式(3)	スラグ	式(4)
No.51	0.036	0.36	0.45	10.1	84	0.14	0	0.05	0.20	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0		0.288	0.000	0.000	4.4	15.00
No.52	0.004	0.18	0.15	8.7	85	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.165	0.000	0.000	5.8	1.14
No.53	0.022	0.13	0.35	10.8	87	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0.224		0.016	1.6	>100	
No.54	0.014	0.24	0.30	8.9	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.185		0.032	4.4	3.71	
No.55	0.020	0.24	0.27	10.9	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.223		0.025	4.5	1.14	
No.56	0.046	0.08	0.06	9.1	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.203		0.038	5.6	10.11	
No.57	0.018	0.26	0.21	11.1	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.222		0.030	1.3	>100	
No.58	0.008	0.10	0.18	9.3	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0.175		0.016	4.3	1.90	
No.59	0.039	0.29	0.12	9.5	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.03	0	0	0	0.213		0.102	4.9	1.14	
No.60	0.019	0.15	0.18	11.0	86	0	0.05	0	0	0	0.004	0.01	0	0	0	0	0	0		0.239	0.029	2.5	>100	
No.61	0.028	0.13	0.12	11.3	85	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0		0.238	0.016	3.0	>100	
No.62	0.052	0.008	0.03	8.4	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.194		0.000	1.4	>100	
No.63	0.069	0.003	0.16	11.5	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.269		0.000	2.2	>100	
No.64	0.032	0.50	0.21	11.6	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.253		0.000	0.6	>100	
No.65	0.036	0.22	0.93	7.7	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.218		0.000	3.0	10.11	
No.66	0.027	0.06	1.00	12.7	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.291		0.000	0.1	>100	
No.67	0.033	0.15	0.29	6.0	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.153		0.000	0.4	>100	
No.68	0.011	0.16	0.17	15.0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.275		0.000	0.6	>100	
No.69	0.017	0.15	0.78	9.9	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.226		0.000	10.1	1.14	
No.70	0.006	0.09	0.07	8.3	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.151		0.000	7.4	1.90	
No.71	0.046	0.29	0.75	12.4	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300		0.000	3.4	>100	
No.72	0.005	0.04	0.06	8.4	83	0	0	0.04	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.154	0.000	8.3	15.00	
No.73	0.028	0.33	0.48	11.3	83	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.298	0.000	4.0	1.90	
No.74	0.027	0.12	0.66	10.7	87	0.25	0	0	0	0	0.008	0	0	0	0	0	0	0		0.295	0.000	1.1	>100	
No.75	0.005	0.17	0.19	10.1	86	0	0	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0	0	0	0.189		0.001	3.4	>100	

【 表 5 】

表5 ファイヤの化学成分

ファイヤ中													備考										
C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	Ca	Mg	REM	Zr	Al	Ti	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)		
No.76	0.018	0.05	0.09	9.9	86	0	0	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0	0	0.189		0.001	3.8	>100	
No.77	0.026	0.21	0.11	10.3	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0.210		0.005	2.3	>100	
No.78	0.041	0.19	0.42	8.5	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0	0	0.210		0.006	4.7	3.71	
No.79	0.029	0.20	0.18	10.0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0	0.211		0.006	5.5	10.11	
No.80	0.029	0.10	0.26	10.3	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.008	0.213		0.006	4.2	1.90	
No.81	0.043	0.19	0.45	9.9	85	0	0	0	0	0	0	0.13	0.12	0.15	0	0.12	0.03	0.237		0.732	3.8	>100	
No.82	0.019	0.15	0.18	10.8	87	0.25	0	0	0	0	0	0.13	0.12	0.15	0	0.14	0	0.213		0.728	1.0	15.00	
No.83	0.021	0.19	0.15	11.5	87	0	0	0	0	0	0	0.11	0.09	0.12	0	0.12	0	0.227	0.244	0.590	0.6	0.54	
No.84	0.022	0.18	0.23	11.5	87	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.223		0.000	0.2	0.54	
No.85	0.022	0.08	0.14	11.5	88	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0		0.239	0.000	0.2	0.54	
No.86	0.022	0.08	0.18	11.3	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0.000	0.2	0.54	
No.87	0.048	0.03	0.03	6.0	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.151		0.000	14.8	10.11	
No.88	0.016	0.04	0.39	7.0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.154		0.000	0.5	>100	
No.89	0.018	0.14	0.35	10.5	83	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0.07	0	0	0	0.215		0.216	5.7	1.36	ファイラックス中に炭酸塩を含む
No.90	0.013	0.04	0.11	8.8	83	0	0.25	0	0	0	0	0.08	0	0.07	0	0	0	0.140	0.179	0.216	7.5	1.36	ファイラックス中に炭酸塩を含む
No.91	0.081	0.09	0.38	6.8	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216		0.000	4.5	1.90	
No.92	0.033	0.55	0.09	12.5	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.264		0.000	0.7	>100	
No.93	0.038	0.09	1.30	7.5	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231		0.000	1.0	>100	
No.94	0.036	0.31	0.33	5.5	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.155		0.000	1.7	>100	
No.95	0.021	0.13	0.13	15.7	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.294		0.000	0.9	>100	
No.96	0.038	0.14	0.57	13.5	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.296		0.000	10.7	1.30	
No.97	0.004	0.01	0.02	8.1	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.140		0.000	7.8	1.90	
No.98	0.048	0.38	0.77	12.6	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.309		0.000	3.1	>100	
No.99	0.004	0.01	0.02	8.1	83	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.143	0.000	8.7	1.90	
No.100	0.037	0.31	0.43	11.1	84	0.25	0	0	0.13	0.13	0	0	0	0	0	0	0		0.313	0.000	3.1	>100	Cuめっきファイヤ

【表 6】

式(5)	フラックス													TOTAL	
	フラックス記号	CaO	CaF ₂	BaF ₂	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂	MnO		FeO
	MIN	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MAX	60	50	20	20	20	10	10	35	55	10	10	20	5	
1.02	A	20	12	0	4	2	3	3	30	3	3	0	19	1	100
1.33	B	23	8	5	12	0	3	3	35	3	0	4	4	0	100
1.90	C	45	9	0	6	0	0	0	23	3	2	0	10	2	100
3.13	D	49	3	0	0	0	9	0	0	21	9	0	0	0	100
3.71	E	35	30	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	100
2.44	F	6	49	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	100
1.64	G	10	25	0	0	0	0	10	0	55	0	0	0	0	100
6.00	H	5	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0	20	5	100
1.30	I	30	10	0	0	10	0	0	27	20	0	3	0	0	100
1.36	J	30	10	0	6	5	0	0	26	20	0	3	0	0	100
9.76	K	60	10	5	8	0	0	0	0	17	0	0	0	0	100
1.08	L	10	25	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	100

【 0 0 8 2 】

また、図 1 に示すように、銅当て金 1（開先の裏側）および摺動式銅当て金 2（開先の

10

20

30

40

50

表側)に囲まれた開先の幅は10mmであり、20°V開先溶接を行った。なお、銅当て金1および摺動式銅当て金2はいずれも、水冷されたものを用いた。

【0083】

溶接方法：エレクトロスラグ溶接

溶接条件：

母材の板厚：30mm

開先形状：図1を参照

スラグ浴深さ25mmで溶接を開始

ワイヤ：表2～5を参照

ワイヤ径 = 1.6mm

入熱条件：約12～19kJ/mm(溶接電流340～380A - 溶接電圧40～44V)

溶接姿勢：立向き1パス

【0084】

このようにして得られた溶接金属の組成(残部は不可避的不純物である)を表7～10に示す。なお、表7～10に示される各溶接金属において、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBのいずれも含有しない溶接金属については、式(6)のパラメータ値のみを記載し、式(7)のパラメータ値は空欄としている。一方、Cu、Cr、Mo、W、Nb、V、およびBからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含有する溶接金属については、式(7)のパラメータ値のみを記載し、式(6)のパラメータ値は空欄としている。また、上記溶接金属について、以下の特性を評価した。

【0085】

(強度)

溶接金属の中央部より、溶接線方向に平行にJIS Z2202記載の方法で引張試験片を採取して、JIS Z2241に記載の方法で引張り試験を行った。本実施例では、引張強度TS > 690MPaの溶接金属を合格とした。

【0086】

(極低温靱性)

得られた溶接金属の板厚中央部より、溶接線方向に垂直にシャルピー衝撃試験片(JIS Z3111 4号Vノッチ試験片)を採取し、JIS Z2242に記載の方法で-196でのシャルピー衝撃試験を実施した。同様の試験を3回行い、その平均値を算出したとき、吸収エネルギーIVが40J以上の溶接金属を極低温靱性に優れると評価した。

【0087】

(ビード外観)

ビード外観は目視にて行い、下記基準で評価した。

合格：ビードの際が揃って直線性に優れているもの

不合格：ビードが大きく蛇行しているもの、またはアンダーカットが発生したもの

【0088】

10

20

30

【表 7】

表7 溶接金属の化学成分および機械的性質

	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	O	N	母材	フラックス記号	式(6)	式(7)	引張強度(MPa)	吸収エネルギー(J)
No.1	0.049	0.19	0.49	9.3	90	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0041	9N	E	0.235		810	56
No.2	0.031	0.17	0.30	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.0033	7N	B	0.227		823	65
No.3	0.038	0.14	0.30	8.5	91	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0043	5N	E	0.199		714	55
No.4	0.047	0.07	0.38	8.6	91	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0035	7N	D	0.212		727	59
No.5	0.039	0.29	0.33	9.8	90	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0039	9N	K	0.229		828	58
No.6	0.041	0.07	0.11	9.7	90	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0040	9N	K	0.211		750	59
No.7	0.039	0.23	0.34	10.6	89	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0035	9N	C	0.240		860	57
No.8	0.034	0.15	0.76	10.8	88	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0029	9N	C	0.257		889	56
No.9	0.031	0.09	0.69	7.1	92	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0035	9N	E	0.187		699	59
No.10	0.033	0.12	0.31	11.8	88	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0036	9N	F	0.249		889	58
No.11	0.031	0.15	0.55	10.2	89	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0045	9N	E	0.234		828	59
No.12	0.028	0.16	0.26	9.5	90	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0034	9N	E	0.205		755	55
No.13	0.038	0.24	0.55	11.5	88	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0039	9N	F	0.265		934	55
No.14	0.023	0.16	0.29	9.1	90	0	0	0	0	0	0	0.001	0.024	0.0033	9N	E	0.200	0.200	727	59
No.15	0.033	0.22	0.43	9.5	89	0	0.22	0.23	0.23	0	0	0.003	0.020	0.0033	9N	F		0.269	929	55
No.16	0.045	0.16	0.23	9.4	90	0	0	0.30	0	0	0	0	0.025	0.0031	9N	E		0.239	846	55
No.17	0.043	0.17	0.35	10.3	89	0	0.31	0	0	0	0	0	0.024	0.0045	9N	E		0.253	911	56
No.18	0.022	0.18	0.10	10.8	89	0	0	0	0.32	0	0	0	0.020	0.0043	9N	F		0.224	840	58
No.19	0.010	0.08	0.34	10.2	89	0.29	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0041	9N	F		0.214	785	59
No.20	0.028	0.13	0.33	10.4	89	0	0	0	0	0	0	0	0.017	0.0037	9N	B	0.222		806	74
No.21	0.050	0.12	0.25	10.7	89	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0.0037	9N	I	0.245		848	72
No.22	0.046	0.13	0.28	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.0035	9N	E	0.239		836	73
No.23	0.025	0.13	0.26	10.8	89	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.0059	9N	E	0.222		816	77
No.24	0.045	0.22	0.25	9.9	90	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.0031	9N	G	0.230		818	78
No.25	0.026	0.15	0.26	9.2	90	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0.0045	5N	G	0.197		732	70

【 8 8 】

表8 溶接金属の化学成分および機械的性質

No.	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	O	N	母材	フラックス記号	式(6)	式(7)	引張強度(Mpa)	吸収エネルギー(J)
No.26	0.032	0.16	0.31	10.9	89	0	0	0	0	0	0	0	0.017	0.0043	7N	I	0.235		846	69
No.27	0.036	0.18	0.29	10.3	89	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.0080	9N	H	0.228		821	73
No.28	0.031	0.18	0.30	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.016	0.0039	9N	J	0.227		825	71
No.29	0.032	0.18	0.35	10.8	89	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0.0037	9N	E	0.236		849	70
No.30	0.035	0.13	0.30	10.4	89	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0.0037	9N	B	0.228		814	71
No.31	0.029	0.13	0.31	9.8	90	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0.0041	9N	I	0.212		771	69
No.32	0.027	0.14	0.30	10.6	88	0	0.21	0.22	0.23	0	0	0.001	0.013	0.0031	9N	B		0.261	943	65
No.33	0.024	0.08	0.32	9.6	90	0	0	0.09	0	0	0	0	0.007	0.0096	9N	H		0.209	763	83
No.34	0.024	0.12	0.30	9.7	90	0	0	0	0.09	0	0	0.004	0.009	0.0043	9N	J		0.228	765	84
No.35	0.032	0.17	0.29	8.7	91	0	0	0.23	0	0	0	0	0.010	0.0041	5N	E		0.213	777	71
No.36	0.030	0.18	0.31	10.3	89	0	0.21	0	0	0	0	0	0.019	0.0045	7N	I		0.234	864	70
No.37	0.031	0.17	0.30	11.0	88	0	0.15	0	0	0	0	0	0.007	0.0037	9N	E		0.243	887	76
No.38	0.029	0.09	0.25	9.1	90	0.11	0	0	0	0	0	0.002	0.008	0.0055	9N	E		0.212	729	77
No.39	0.022	0.11	0.31	10.3	89	0	0	0	0	0	0	0	0.015	0.0039	9N	H	0.213		783	74
No.40	0.032	0.16	0.30	10.5	89	0	0.15	0	0	0	0	0	0.017	0.0031	9N	H		0.235	858	71
No.41	0.038	0.11	0.30	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0039	9N	L		0.232	819	55
No.42	0.032	0.13	0.29	8.1	91	0	0	0.02	0.05	0	0	0	0.025	0.0043	5N	K		0.189	695	55
No.43	0.038	0.14	0.28	8.8	91	0	0	0	0	0	0	0	0.014	0.0035	9N	J	0.203		729	73
No.44	0.030	0.10	0.27	8.9	91	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0039	9N	I	0.195		711	51
No.45	0.030	0.13	0.26	9.5	90	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0.025	0.0033	9N	A	0.210		763	50
No.46	0.026	0.16	0.32	10.0	90	0	0	0	0	0	0	0	0.010	0.0035	9N	E	0.214		786	73
No.47	0.020	0.16	0.43	9.4	90	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0033	9N	E	0.204		754	54
No.48	0.024	0.18	0.25	9.1	90	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.0031	9N	F	0.194		729	52
No.49	0.050	0.29	0.60	11.3	88	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0033	9N	B	0.278		959	50
No.50	0.025	0.18	0.30	8.8	91	0	0	0	0	0	0.01	0	0.024	0.0043	9N	E		0.194	722	52

【 0 0 9 0 】

10

20

30

40

50

【 表 9 】

表9 溶接金属の化学成分および機械的性質

	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	O	N	母材	フラックス記号	式(6)	式(7)	引張強度(Mpa)	吸収エネルギー(J)
No.51	0.040	0.25	0.51	10.2	89	0.10	0	0	0.02	0.12	0.12	0	0.023	0.0041	9N	I		0.274	947	50
No.52	0.022	0.18	0.29	9.4	90	0	0.02	0	0	0	0	0	0.025	0.0044	9N	K		0.200	752	50
No.53	0.031	0.15	0.45	10.0	89	0	0	0	0	0	0	0	0.019	0.0037	9N	H	0.225		806	60
No.54	0.029	0.21	0.43	9.1	90	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0.0035	9N	F	0.209		764	63
No.55	0.033	0.20	0.38	10.3	89	0	0	0	0	0	0	0	0.017	0.0041	9N	E	0.230		830	61
No.56	0.050	0.11	0.24	9.5	90	0	0	0	0	0	0	0	0.016	0.0031	9N	J	0.224		777	64
No.57	0.028	0.21	0.35	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.017	0.0045	9N	C	0.228		832	61
No.58	0.023	0.11	0.34	9.6	90	0	0	0	0	0	0	0	0.019	0.0054	9N	B	0.204		749	62
No.59	0.044	0.23	0.29	9.9	90	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.0045	9N	B	0.231		823	65
No.60	0.031	0.14	0.32	10.2	89	0	0.02	0	0	0	0	0.003	0.018	0.0037	9N	E		0.238	807	63
No.61	0.035	0.14	0.30	10.6	89	0	0	0	0.24	0	0	0	0.019	0.0033	9N	E		0.239	853	61
No.62	0.052	0.07	0.24	8.6	91	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0043	9N	B	0.210		720	48
No.63	0.063	0.07	0.31	10.9	89	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0037	9N	B	0.263		876	44
No.64	0.038	0.39	0.35	10.4	89	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0034	9N	H	0.242		886	43
No.65	0.041	0.20	0.84	8.3	91	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0040	9N	C	0.228		780	48
No.66	0.035	0.09	0.98	11.4	88	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0037	9N	H	0.277		934	41
No.67	0.039	0.14	0.41	7.0	92	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.0033	9N	H	0.181		708	42
No.68	0.025	0.16	0.33	13.8	86	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.0035	9N	H	0.277		1000	41
No.69	0.035	0.28	0.89	10.1	89	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0037	9N	K	0.257		953	42
No.70	0.021	0.13	0.26	9.3	90	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.0037	9N	I	0.193		725	48
No.71	0.048	0.23	0.71	11.5	88	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0035	9N	J	0.283		965	40
No.72	0.021	0.09	0.25	9.2	90	0	0	0	0.03	0.01	0	0	0.021	0.0034	9N	H		0.192	715	49
No.73	0.035	0.24	0.53	10.9	88	0.18	0	0.35	0	0	0	0	0.022	0.0034	9N	E		0.284	997	42
No.74	0.035	0.13	0.65	10.2	89	0.17	0	0	0	0	0	0.005	0.023	0.0034	9N	E		0.275	860	45
No.75	0.020	0.16	0.33	9.9	90	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0043	9N	D	0.207		771	48

【 0 0 9 1 】

10

20

30

40

【表 10】

表 10 溶接金属の化学成分および機械的性質

No.	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu	Cr	Mo	W	Nb	V	B	O	N	母材	フラックス記号	式(6)	式(7)	引張強度(Mpa)	吸収エネルギー(J)
No.76	0.030	0.09	0.28	10.1	90	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0033	9N	E	0.215		777	49
No.77	0.033	0.17	0.27	9.8	90	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0035	9N	E	0.216		783	47
No.78	0.044	0.17	0.50	9.2	90	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0037	9N	H	0.228		792	46
No.79	0.035	0.18	0.33	10.2	89	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0034	9N	H	0.228		818	45
No.80	0.034	0.12	0.38	10.3	89	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0.0044	9N	D	0.229		813	45
No.81	0.049	0.17	0.51	10.1	89	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0.0057	9N	E	0.249		852	42
No.82	0.033	0.13	0.32	9.9	89	0.17	0	0	0	0	0	0	0.012	0.0033	9N	E	0.227	0.227	803	40
No.83	0.032	0.16	0.30	10.5	89	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0040	9N	K	0.227		822	43
No.84	0.034	0.14	0.37	10.8	89	0	0.16	0	0	0	0	0	0.025	0.0043	9N	K	0.245		883	40
No.85	0.032	0.12	0.31	10.7	89	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0033	9N	K	0.230		825	41
No.86	0.033	0.11	0.33	10.5	89	0	0	0.07	0	0	0	0.001	0.025	0.0043	9N	K	0.238		832	42
No.87	0.054	0.09	0.24	7.8	92	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0035	9N	E	0.199		718	43
No.88	0.029	0.08	0.46	7.7	92	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0029	9N	D	0.183		697	44
No.89	0.031	0.16	0.44	10.4	89	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0033	9N	I	0.232		830	41
No.90	0.028	0.09	0.29	9.2	90	0	0.17	0	0	0	0	0	0.025	0.0038	9N	I	0.207		765	43
No.91	0.073	0.12	0.48	7.9	91	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0039	9N	D	0.233		753	37
No.92	0.039	0.41	0.27	11.2	88	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0033	9N	C	0.253		929	28
No.93	0.042	0.12	1.03	8.2	91	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0038	9N	B	0.234		777	32
No.94	0.040	0.24	0.42	5.9	93	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.0035	9N	B	0.167		659	38
No.95	0.031	0.14	0.29	14.1	85	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0037	9N	C	0.285		1018	25
No.96	0.046	0.16	0.60	13.4	86	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.0033	9N	F	0.305		1041	21
No.97	0.012	0.05	0.21	8.7	91	0	0	0	0	0	0	0	0.022	0.0039	9N	E	0.169		680	35
No.98	0.054	0.29	0.79	11.9	87	0	0	0	0	0	0	0	0.020	0.0035	9N	H	0.302		1011	20
No.99	0.010	0.05	0.21	8.7	91	0	0	0.03	0	0	0	0	0.021	0.0031	9N	K	0.169	0.169	678	36
No.100	0.044	0.27	0.54	11.1	88	0.16	0.26	0	0	0.08	0.08	0	0.020	0.0043	9N	H	0.302	0.302	1024	21

表7～10の結果より、以下のように考察することができる。

【0093】

まず、表7～10のNo. 1～90は、本発明の要件を満足する表2～5のNo. 1～90のワイヤを用いた例であり、10.0kJ/mm以上の大入熱溶接を施したにもかかわらず、極低温靱性IV（吸収エネルギー）および強度TS（引張強度）の両方に優れた溶接金属が得られた。

【0094】

これらのうち、フラックスとして本発明の組成を満足する表6のA～Lを用いた結果、ビード外観は良好であった。

【0095】

これに対し、表10のNo. 91～100は、本発明の要件を満足しない表5のNo. 91～100のワイヤを用いた例であり、以下の不具合を有している。

【0096】

No. 91は、ワイヤおよび溶接金属中のC量が多く、靱性が劣化した。

No. 92は、ワイヤおよび溶接金属中のSi量が多く、靱性が劣化した。

No. 93は、ワイヤおよび溶接金属中のMn量が多く、靱性が劣化した。

No. 94は、ワイヤおよび溶接金属中のNi量が少なく、強度が低下したうえ、靱性が劣化した。

No. 95は、ワイヤおよび溶接金属中のNi量が多く、靱性が劣化した。

No. 96は、ワイヤのFe量が少なくなった結果、合金成分が過大となり、溶接金属の式(6)のパラメータが大きく、靱性が劣化した。

No. 97は、ワイヤの式(1)のパラメータが小さく、強度が低下した上、靱性が劣化した。

No. 98は、ワイヤの式(1)のパラメータおよび溶接金属の式(6)のパラメータが大きく、靱性が劣化した。

No. 99は、ワイヤの式(2)のパラメータが小さく、強度が低下した上、靱性が劣化した。

No. 100は、ワイヤの式(2)のパラメータおよび溶接金属の式(7)のパラメータが大きく、靱性が劣化した。

【0097】

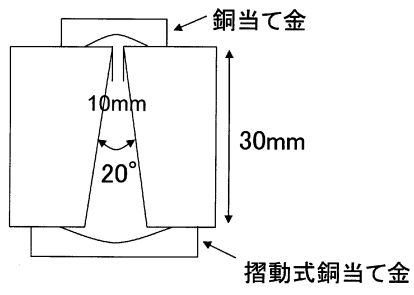
以上、本発明を上記具体例に基づいて詳細に説明したが、本発明は上記具体例に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更が可能である。

10

20

30

【図1】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 2 C 38/08

(72)発明者 杉村 朋子
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内

(72)発明者 岡崎 喜臣
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内

審査官 鈴木 毅

(56)参考文献 特開平11-138290(JP,A)
特開平02-220795(JP,A)
特開2009-154199(JP,A)
特開昭50-113446(JP,A)
特開昭50-071529(JP,A)
特開2010-094686(JP,A)
特開2005-305471(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B 2 3 K 3 5 / 3 0 - 3 5 / 4 0