

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年5月14日(14.05.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/068261 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 35/368 (2006.01) **B23K 35/30** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/080242
- (22) 国際出願日: 2013年11月8日(08.11.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 新日鐵住金株式会社(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 熊谷 達也(KUMAGAI Tatsuya); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 中村 修一(NAKAMURA Shuichi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

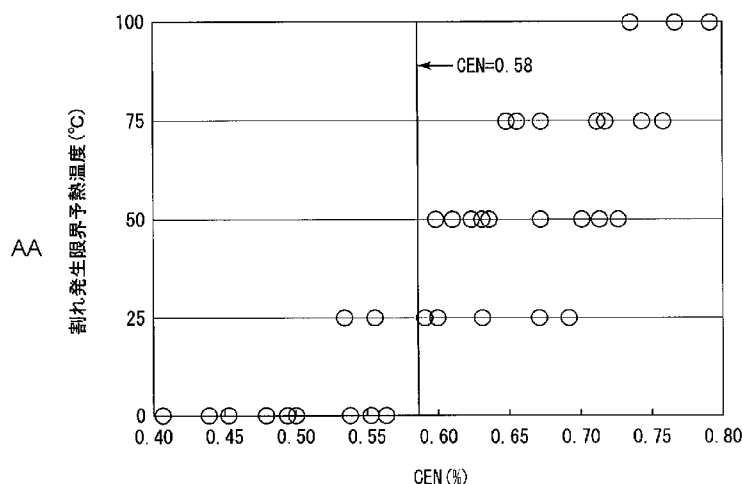
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING WELD JOINT

(54) 発明の名称: 溶接継手の製造方法

[図2]



AA Critical preheat temperature at which crack is created

(57) Abstract: This method for producing a weld joint involves subjecting a steel plate to gas-shielded arc welding by using a flux-cored wire, said steel plate having a Vickers hardness HV of from 380 to 514 inclusive, a plate thickness of 20-100 mm, a C content of 0.12-0.30%, and a CEN of 0.20-0.75%, said CEN being calculated according to the following equation 1:
$$CEN = [C] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([C] - 0.12))) \times ([Si]/24 + [Mn]/6 + [Cu]/15 + [Ni]/20 + ([Cr] + [Mo] + [Nb] + [V])/5 + 5 \times [B])$$

(57) 要約: この溶接継手の製造方法は、ビッカース硬さHVが380以上514以下であり、板厚が20～100mmであり、Cの含有量が0.12～0.30%であり、下記の式1で計算されるCENが、0.20～0.75%である鋼板に対し、フラックス入りワイヤを用いて、ガスシールドアーク溶接を行う。
$$CEN = [C] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([C] - 0.12))) \times ([Si]/24 + [Mn]/6 + [Cu]/15 + [Ni]/20 + ([Cr] + [Mo] + [Nb] + [V])/5 + 5 \times [B])$$

$$([Mo] + [Nb] + [V]) / 5 + 5 \times [B]) \dots (式1)$$

明 細 書

発明の名称：溶接継手の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、建設機械や産業機械分野で利用される耐摩耗性に優れる高硬度鋼板を溶接する際に、硬さが高くて耐摩耗性に優れ、かつ低温割れの発生しにくい溶接金属を有する溶接継手の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 鉱山での掘削や土木作業用の建設機械に用いられる鋼板は、摩耗のために交換が必要となる部材が多いが、その使用寿命を長くするために、鋼板の硬さを高めた耐摩耗鋼が用いられる。使用される環境や目的によって鋼板の硬さは様々であるが、一般にはHB 400級（ブリネル硬さの規格値でHB 360からHB 440、ビッカース硬さの規格値ではHV 380からHV 469）、HB 450級（ブリネル硬さの規格値でHB 410からHB 490、ビッカース硬さの規格値ではHV 435からHV 533）、HB 500級（ブリネル硬さの規格値でHB 450からHB 550、ビッカース硬さの規格値ではHV 478からHV 585）又はHB 600級（ブリネル硬さの規格値でHB 550からHB 650、ビッカース硬さの規格値ではHV 585からHV 693）の耐摩耗鋼板が多く用いられている。

[0003] 耐摩耗鋼もその多くは溶接されるのであるが、その溶接金属にも母材（耐摩耗鋼）に近い耐摩耗性が求められることがある。溶接金属の耐摩耗性を高めるためにも、やはりその硬さを高くする必要がある。しかしながら、溶接金属の硬さを高くすると、溶接時に侵入する水素を起因とする低温割れが非常に発生しやすくなる。さらに高硬度である耐摩耗鋼を母材とするために、拘束が強くなることも低温割れが生じやすくなる一因である。

[0004] このような低温割れを回避するためには、一般に溶接に先立って予熱が行われるが、耐摩耗鋼の場合は過剰な加熱温度によって硬さが低下することがあるので、あまり高い予熱温度をとることができない。

溶接金属の耐摩耗性も求められる場合が多く、溶接金属の硬さとしては、母材と同等程度あることが望ましい。例えばHB 400あるいはHB 500級耐摩耗鋼を母材とする場合では、溶接金属の硬さを少なくともHV 380以上とすることが望ましい。

[0005] また、溶接金属部において、耐摩耗性の観点で重要になるのは、表面付近の硬さである。多層盛り溶接においては、下層の溶接金属は、後続パスによって再熱されるために硬さがやや低下するが、多層盛り溶接の場合はその最上層の溶接金属、また1パス溶接の場合はその溶接金属の、それぞれの表面付近が十分な硬さを有していればよい。

以上のようなことから、HV 380以上、HV 693以下である高硬度の耐摩耗鋼を母材とする溶接継手において、表面硬さがHV 380以上、HV 533以下であり十分な耐摩耗性を有しながら、予熱をしなくても低温割れが発生しない溶接金属を形成させる溶接方法があれば極めて有用であると考えられる。

[0006] 高強度溶接金属で発生する水素起因の低温割れを抑制する技術としては、例えば特許文献1から5の方法が提案されている。

これらのうち特許文献1は、高強度ラインパイプなどの用途に用いられる鋼板について、残留オーステナイトを水素のトラップサイトとして機能させることにより、低温割れの発生を防ぐものである。特許文献2は、やはり高強度ラインパイプなどの用途に用いられる鋼板について、酸化物を水素のトラップサイトとして機能させることにより、低温割れの発生を防ぐものである。

[0007] 特許文献3は、引張強さ800～1150MPaの鋼材について、Mo炭化物をトラップサイトとして機能させることにより、低温割れの発生を防ぐものである。特許文献4は、被覆アーク溶接材料の被覆材にMgを適量配合することによって、溶接直後の溶接金属中の拡散性水素量を3.0～4.0ml/100g程度に低減して引張強さ880～1180MPaの鋼材の耐低温割れ性を改善するものである。特許文献5は、ガスシールドアーク溶接

用のフラックス入りワイヤに含まれる水素量を制限することで、低温割れを抑制する技術である。

これらはいずれも母材および溶接金属の強度が1200MPa未満であり、HV380（引張強さ換算約1200MPa）以上の硬さを有して耐摩耗性を具備する溶接金属の低温割れ性を改善できる技術ではない。

[0008] さらに、一般に、オーステナイト系ステンレス溶接材料を用いると、溶接金属中への水素の侵入が大きく低減されるので、低温割れ感受性を下げることができる。また、オーステナイト組織であるため延性低下割れも生じにくい。しかし、オーステナイト系ステンレス溶接材料を用いた溶接金属は、強度つまり硬さを高くすることが容易でなく、耐摩耗性を具備することは期待できない。

[0009] このようなことから、HV380以上、HV693以下の高硬度の耐摩耗鋼を母材とする溶接継手において、表面硬さがHV380以上、HV533以下であって、耐摩耗性に優れるとともに、低温割れが発生しにくい溶接金属を、ガスシールドアーク溶接によって形成することが求められている。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：日本国特開2012-176434号公報
特許文献2：日本国特開2012-218034号公報
特許文献3：日本国特開2005-40816号公報
特許文献4：日本国特開平11-147196号公報
特許文献5：日本国特開2009-255168号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0011] 本発明の課題は、C含有量が高く表面硬さがHV380以上、HV693以下であるような高硬度鋼板を母材とした溶接継手であって、表面硬さがHV380以上、HV533以下であって耐摩耗性に優れるとともに、低温割

れが発生しにくい溶接金属を有する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

[0012] 従来の耐摩耗鋼は、低温割れ防止のために、溶接時の予熱温度が重要だったので、軟鋼用の溶接材料で、予熱温度を最優先して溶接するのが普通であった。従って溶接金属部の硬さが低くて、摩耗が非常に起こりやすかったことを課題としていた。本発明は、それに対して溶接金属部の硬さを高くしようとすると、母材の熱影響部ではなくて、溶接金属自体が非常に割れやすいことを新たに見出した。それで、溶接金属のC E Nと割れとの関係を調査した上で、溶接金属のC E Nの適正範囲を見出した。

[0013] 溶接時に溶接金属で発生する低温割れは、溶接金属の強度と、継手拘束力と、溶接金属中の拡散性水素量とに影響される。発明者らは、表面硬さがH V 3 8 0以上、H V 5 3 3以下であるような高硬度の溶接金属で、低温割れを確実に抑制するための方法を種々検討した結果、その最も確実な方法は、溶接金属中の拡散性水素量を十分低くすること、かつ溶接金属中の合金成分で規定されるC E Nを0. 2 0～0. 5 8%にすることであるという結論を得た。

[0014] 図1は、J I S Z 3 1 5 8に規定のy形溶接割れ試験を、種々の鋼板およびフラックス組成などを変化させた溶接材料により様々な条件にて実施し、種々の溶接金属の硬さおよび溶接金属中の拡散性水素量を有する溶接金属を作製し、その割れ発生を抑制する限界予熱温度を求めた結果である。図1には、溶接金属中の拡散性水素量と割れ発生を抑制する限界予熱温度との関係を、溶接金属の硬さレベル別に整理して示している。

ここで、低温割れ試験は、J I S Z 3 1 5 8（y形溶接割れ試験方法；1 9 9 3年）に準拠し、室温（2 5℃）にて試験を実施し、表面および断面に割れがないことをもって合格とした。拡散性水素量の測定試験は、J I S Z 3 1 1 8（鋼溶接部の水素量測定方法；2 0 0 7年）に準拠したガスクロマトグラフ法にて実施した。

[0015] 図1に示すように、溶接直後における溶接金属中の拡散性水素量が1.0 ml / 100 g 未満であれば、低温割れ発生の限界予熱温度は、溶接金属の硬さにはあまり依存せず、硬さがHV380以上、HV533以下の溶接金属の低温割れ感受性を大きく低減することができる。

[0016] しかしながら、このレベルまで溶接直後における溶接金属中の拡散性水素量を低減することは、従来の技術では容易ではなかった。発明者らは、種々の検討を重ね、フラックス入りワイヤのフラックス組成の改善によって、溶接金属中の拡散性水素量を、従来には困難であったレベルまで安定して低減できることを新たに知見した。具体的には、フラックス成分にCaF₂をはじめとする弗化物を一定量含有させるとともに酸化物の量を調整し、かつ弗化物と酸化物の配合比を一定範囲とすることにより、溶接金属中の拡散性水素量を安定して1.0 ml / 100 g 未満に抑制することができる。

[0017] 溶接金属の低温割れ感受性は、溶接金属の硬さに大きく依存するが、合金元素によっても影響される。発明者らは、HV380以上、HV533以下の溶接金属の、種々の合金組成と低温割れ感受性（割れ抑制予熱温度）との関係を調査した。低温割れ試験は、JIS Z3158（y形溶接割れ試験方法；1993年）に準拠して試験を実施し、予熱温度を変化させて低温割れを生じない最低の予熱温度を、割れ発生限界予熱温度とした。溶接にあたっては、以下で説明する本発明のフラックス入り溶接ワイヤを用いており、溶接金属中の拡散性水素量は、いずれも1.0 ml / 100 g 未満である。

[0018] その結果、図2に示すように、式1で計算されるCEN（溶接選書10.「鉄鋼材料の溶接」 産報出版（1999）, p. 163）を0.58%以下とすれば割れ発生限界予熱温度を室温（25℃）以下とすることができ、予熱なしでも低温割れの発生を抑制できることを知見した。

$$\begin{aligned}
 \text{CEN} = & [\text{C}] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([\text{C}] - 0.12))) \times ([\text{Si}] / 24 + [\text{Mn}] / 6 + [\text{Cu}] / 15 + [\text{Ni}] / 20 + ([\text{Cr}] + [\text{Mo}] + [\text{Nb}] + [\text{V}]) / 5 + 5 \times [\text{B}]) \\
 & \dots \text{ (式1) }
 \end{aligned}$$

ただし、 $[\]$ 付元素は、それぞれの元素の含有量（質量％）を表す。また、添加元素が無しの場合は、 $[\]$ 内にゼロを代入する。

[0019] 本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

[0020] （１）本発明の第一の態様に係る溶接継手の製造方法は、ビッカース硬さ HV が 380 以上 514 以下であり、板厚が 20～100 mm であり、 C の含有量が 0.12～0.30％であり、下記の式 1 で計算される CEN が、0.20～0.75％である鋼板、ビッカース硬さ HV が 514 超 565 以下であり、板厚が 12～100 mm であり、 C の含有量が 0.12～0.30％であり、下記の式 1 で計算される CEN が、0.20～0.75％である鋼板、ビッカース硬さ HV が 565 超 693 以下であり、板厚が 6～12 mm であり、 C の含有量が 0.35～0.45％であり、下記の式 1 で計算される CEN が、0.20～0.85％である鋼板、のいずれか一つに対し、鋼製外皮にフラックスが充填されたフラックス入りワイヤを用いて、ガスシールドアーク溶接を行うことにより、溶接継手を製造する方法であって、
（a）前記ガスシールドアーク溶接時に、前記鋼板の温度が 10℃ 以上の場合に予熱作業を行わず、（b）前記フラックス入りワイヤが、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 のうちの少なくとも 1 種を含有し、その含有量の合計を α としたとき、前記 α が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で 3.3～8.0％であり、 Ti 酸化物、 Si 酸化物、 Mg 酸化物、 Al 酸化物のうちの少なくとも 1 種を含有し、その含有量の合計を β としたとき、前記 β が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で 0.10～1.50％であり、 $CaCO_3$ 、 $BaCO_3$ 、 $SrCO_3$ 、 $MgCO_3$ の含有量の合計が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で 0.60％未満であり、前記フラックス中の鉄粉の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で 10％未満であり、前記 α に対する前記 CaF_2 の含有量の比が 0.90 以上であり、前記 β に対する前記 α の比が 3.0 以上 80.0 以下であり、 CaO の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全

質量に対する質量％で0.20％未満であり、金属弗化物、金属酸化物、および金属炭酸塩を除く、化学成分が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で：C：0.06～0.35％；Si：0.05～1.8％；Mn：0.5～4.0％；P：0.05％以下；S：0.02％以下；Al：0.005～0.15％；Cu：0～0.75％；Ni：0～1.0％未満；Cr：0～3.5％；Mo：0～1.5％；Ti：0～0.15％；Nb：0～0.15％；V：0～0.45％；B：0～0.050％；Mg：0～2.0％；Ca：0～2.0％；REM：0～0.0150％；残部：Feおよび不純物；からなり、(c)前記溶接継手の溶接金属の化学組成が、質量％で：C：0.12～0.25％；Si：0.05～0.80％；Mn：0.2～2.5％；Al：0.005～0.10％；P：0.05％以下；S：0.02％以下；N：0.015％以下；Cu：0～0.5％；Ni：0～0.7％未満；Cr：0～2.5％；Mo：0～1.0％；Ti：0～0.10％；Nb：0～0.10％；V：0～0.30％；B：0～0.0100％；O：0～0.100％；Mg：0～0.10％；Ca：0～0.10％；REM：0～0.0100％；残部：Feおよび不純物；からなり、下記の式1で計算されるCENが、0.20～0.58％であり、前記溶接金属の最表層の表面下1mmの平均ビッカース硬さHVが、380～533であり、上記(a)～(c)の全てを満足する。

$$\begin{aligned} \text{CEN} = & [\text{C}] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([\text{C}] - 0.12))) \times ([\text{Si}] / 24 + [\text{Mn}] / 6 + [\text{Cu}] / 15 + [\text{Ni}] / 20 + ([\text{Cr}] + [\text{Mo}] + [\text{Nb}] + [\text{V}]) / 5 + 5 \times [\text{B}]) \\ & \dots \text{(式1)} \end{aligned}$$

ただし、[] 付元素は、それぞれの元素の含有量（質量％）を表す。

- [0021] (2) 本発明の第二の態様に係る溶接継手の製造方法は、ビッカース硬さHVが565超693以下であり、板厚が12～20mmであり、Cの含有量が0.35～0.45％であり、下記の式2で計算されるCENが、0.20～0.85％である鋼板、ビッカース硬さHVが565超693以下で

あり、板厚が20mm超50mm以下であり、Cの含有量が0.35～0.45%であり、下記の式2で計算されるCENが、0.20～0.85%である鋼板、のいずれか一つに対し、鋼製外皮にフラックスが充填されたフラックス入りワイヤを用いて、ガスシールドアーク溶接を行うことにより、溶接継手を製造する方法であって、(a)前記ガスシールドアーク溶接時に、前記鋼板の板厚が20mm以下の場合、前記鋼板を100℃以上に予熱を行い、前記鋼板の板厚が20mm超の場合、前記鋼板を150℃以上の予熱を行い、(b)前記フラックス入りワイヤが、 CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を α としたとき、前記 α が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で3.3～8.0%であり、Ti酸化物、Si酸化物、Mg酸化物、Al酸化物のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を β としたとき、前記 β が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.10～1.50%であり、 CaCO_3 、 BaCO_3 、 SrCO_3 、 MgCO_3 の含有量の合計が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.60%未満であり、前記フラックス中の鉄粉の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で10%未満であり、前記 α に対する前記 CaF_2 の含有量の比が0.90以上であり、前記 β に対する前記 α の比が3.0以上80.0以下であり、CaOの含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.20%未満であり、金属弗化物、金属酸化物、および金属炭酸塩を除く、化学成分が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で：
C：0.06～0.35%；Si：0.05～1.8%；Mn：0.5～4.0%；P：0.05%以下；S：0.02%以下；Al：0.005～0.15%；Cu：0～0.75%；Ni：0～1.0%未満；Cr：0～3.5%；Mo：0～1.5%；Ti：0～0.15%；Nb：0～0.15%；V：0～0.45%；B：0～0.050%；Mg：0～2.0%；Ca：0～2.0%；REM：0～0.0150%；残部：Feおよび不純物；からなり、(c)前記溶接継手の溶接金属の化学組成が、質量%で：C：

0.12~0.25%; Si: 0.05~0.80%; Mn: 0.2~2.5%; Al: 0.005~0.10%; P: 0.05%以下; S: 0.02%以下; N: 0.015%以下; Cu: 0~0.5%; Ni: 0~0.7%未満; Cr: 0~2.5%; Mo: 0~1.0%; Ti: 0~0.10%; Nb: 0~0.10%; V: 0~0.30%; B: 0~0.0100%; O: 0~0.100%; Mg: 0~0.10%; Ca: 0~0.10%; REM: 0~0.0100%; 残部: Feおよび不純物; からなり、下記の式2で計算されるCENが、0.20~0.58%であり、前記溶接金属の最表層の表面下1mmの平均ビッカース硬さHVが、380~533であり、上記(a)~(c)の全てを満足する。

$$CEN = [C] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([C] - 0.12))) \times ([Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Cu] / 15 + [Ni] / 20 + ([Cr] + [Mo] + [Nb] + [V]) / 5 + 5 \times [B]) \dots \text{(式2)}$$

ただし、[] 付元素は、それぞれの元素の含有量(質量%)を表す。

[0022] (3) 上記(1)または(2)に記載の溶接継手の製造方法は、前記フラックス入りワイヤ中の前記CaOの含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.15%以下であってもよい。

[0023] (4) 上記(1)~(3)のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法は、前記金属弗化物、前記金属酸化物、および前記金属炭酸塩を除く、前記フラックス入りワイヤ中の合金の化学組成が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で: Ni: 0~0.1%であってもよい。

[0024] (5) 上記(1)~(4)のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法は、前記金属弗化物、前記金属酸化物、および前記金属炭酸塩を除く、前記フラックス入りワイヤ中の合金の化学組成が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で: Cu: 0~0.5%; Cr: 0~1.0%; Mo: 0~0.5%; Ti: 0~0.05%; Nb: 0~0.05%であってもよい。

[0025] (6) 上記(1)～(5)のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法は、前記鋼製外皮がシームレス形状であってもよい。

[0026] (7) 上記(1)～(6)のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法は、前記フラックス入りワイヤの表面にパーフルオロポリエーテル油が塗布されていてもよい。

発明の効果

[0027] 本発明の上記各態様によれば、C含有量が高く表面硬さがHV380以上、HV693以下であるような高硬度鋼板を母材とする溶接継手において、表面硬さがHV380以上、HV533以下であって耐摩耗性に優れるとともに、低温割れが発生しにくい溶接継手を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]母材の硬さおよび溶接金属中の拡散性水素量と割れ発生限界予熱温度との関係を示す図である。

[図2]HV380以上、HV533以下で溶接金属中の拡散性水素量1.0ml/100g未満の溶接金属における、CENと割れ発生限界予熱温度との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0029] 高硬度鋼板を母材とする溶接継手において、発明者らは、上記のように、溶接直後における溶接金属中の拡散性水素量が1.0ml/100g未満であれば、低温割れ発生限界予熱温度は、溶接金属の硬さにはあまり依存せず、硬さがHV380以上、HV533以下の溶接金属の低温割れ感受性を大きく低減することができることを知見した。

[0030] さらに発明者らは、溶接直後における溶接金属中の拡散性水素量を1.0ml/100g未満とするために、フラックス入りワイヤのフラックス成分の組合せとその配合比とを種々変化させて検討を重ねた。

その結果、水素低減に特に効果のあるのはCaF₂をはじめとする弗化物であり、フラックス成分に一定量を含有させることにより溶接金属中の拡散性水素量を大きく低減でき、さらに酸化物の量を調整し、かつ弗化物と酸化物

の配合比を一定範囲とすることにより、安定して1.0ml/100g未満に抑制することができることを知見するに至った。

[0031] 本発明は、このような検討に基づいてなされたものである。以下、本発明の溶接継手の製造方法の一態様について説明する。

本発明は、耐摩耗鋼板として広く用いられている、C含有量が質量%で0.12~0.45%で、HV380以上、HV693以下の高硬度の厚鋼板を母材として用い、それをガスシールドアーク溶接して形成した溶接継手を対象とする。

本発明では、溶接金属を、上記(1)または(2)に記載した化学組成を有するものとする。

以下、溶接金属の化学組成の限定理由について説明する。以下の説明において、「%」は特に説明がない限り、「質量%」を意味する。

[0032] (C: 0.12~0.25%)

Cは、溶接金属の硬さに最も影響する元素である。母材硬さがHV380以上であるときに、母材に近い耐摩耗性を確保するためには、溶接金属の表面硬さもHV380以上であることが望ましい。そのためには溶接金属のC含有量は0.12%以上が必要である。しかし、C含有量が0.25%を超えると、溶接金属の硬さがHV533を超えて溶接金属の靱性が低下することがあるので、C含有量の上限を0.25%とする。安定してHV380以上の母材硬さを得るためには、C含有量の下限を0.13%または0.14%としてもよい。また、溶接金属の靱性を安定して得るために、C含有量の上限を0.23%または0.21%としてもよい。

[0033] (Si: 0.05~0.80%)

Siは、脱酸元素であり、溶接金属のO量を低減して清浄度を高めるためにフラックスには一定量添加する。そのため溶接金属中のSi含有量も0.05%以上が含有される。必要に応じて、Si含有量の下限を0.10%、0.15%又は0.20%としてもよい。Siは、0.80%を超えて含有すると溶接金属の靱性を劣化させることがあるため、これを上限とする。溶

接金属の靱性改善のため、S i 含有量の上限を0.70%、0.65%、0.60%又は0.50%としてもよい。

[0034] (Mn : 0.2~2.5%)

Mnは、MnSを形成してSによる粒界脆化を抑制する効果があるので、溶接金属には少なくとも0.2%以上含有させるようにする。またMnは溶接金属の焼入性を確保して強度を高める効果のある元素であるので、硬さを安定的に得るためには、0.5%以上含有することが望ましい。溶接金属の硬さ向上のため、Mn含有量の下限を0.6%、0.7%、0.8%又は0.9%としてもよい。一方、Mnは、2.5%を超えて含有すると、粒界脆化感受性が増加して溶接金属の靱性が劣化するため、これを上限とする。溶接金属の靱性改善のため、Mn含有量の上限を2.3%、2.1%、1.9%、1.7%又は1.5%に制限してもよい。

[0035] (Al : 0.005~0.10%)

Alは脱酸元素であり、S iと同様、溶接金属中のO量を低減、清浄度向上に効果があるので、フラックスには一定量を添加する必要がある。溶接金属中のAl含有量の下限は特に規定しない。一方、0.10%を超えて含有させると、窒化物や酸化物を形成して、溶接金属の靱性を阻害するため、これを上限とする。溶接金属の靱性改善のため、Al含有量の上限を0.09%、0.08%、0.07%又は0.06%に制限してもよい。

[0036] (P : 0.05%以下)

Pは不純物元素であり、靱性を阻害する。そのため極力低減する必要があるが、靱性への悪影響が許容できる範囲として、溶接金属のP含有量は0.05%以下に制限する。必要に応じて、P含有量の上限を0.03%、0.025%、0.02%又は0.015%に制限してもよい。P含有量の下限を制限する必要はない。P含有量の下限は0%である。

[0037] (S : 0.02%以下)

Sも不純物元素であり、溶接金属中に過大に存在すると靱性と延性とをとともに劣化させるため、極力低減することが好ましい。靱性、延性への悪影響

が許容できる範囲として、溶接金属のS含有量は0.02%以下に制限する。必要に応じて、S含有量の上限を0.015%、0.01%、0.008%又は0.006%に制限してもよい。S含有量の下限を制限する必要はない。S含有量の下限は0%である。

[0038] (N : 0.015%以下)

Nは、溶接金属中には不可避免的に含有されるが、0.015%を超えると粗大なAINやBNを形成して靱性を低下させる。溶接金属への影響を許容できる上限としてN含有量は0.015%以下に制限する。必要に応じて、N含有量の上限を0.01%、0.008%又は0.006%に制限してもよい。N含有量の下限を制限する必要はない。N含有量の下限は0%である。

[0039] (O : 0~0.100%)

Oは、溶接金属中には不可避免的に含有されるが、靱性、延性への悪影響が許容できる範囲として、溶接金属のO含有量は0.100%以下に制限する。必要に応じて、O含有量の上限を0.080%、0.060%、0.050%又は0.040%としてもよい。O含有量の下限を制限する必要はない。O含有量の下限は0%である。

[0040] (Cu : 0~0.5%)

Cuは、溶接金属の強度と靱性とを向上させることができるので、選択元素として含有できる。しかしながら、Cu含有量が0.5%を超えると靱性が低下することがあるため、溶接金属のCu含有量は0.5%以下とする。必要に応じて、Cu含有量の上限を0.4%又は0.3%としてもよい。Cu含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Cu含有量の下限は0%である。一方、強化効果を十分に得るために、溶接金属に0.1%以上含有させてもよい。溶接金属中にCuを含有させる方法としては、ワイヤの外皮表面のめっき、あるいは、フラックスに単体または合金元素として添加する等の方法がある。

[0041] (Ni : 0~0.7%未満)

Niは韌性向上に有効な元素とされる選択元素として含有できる。しかし、C含有量が高い場合にはその効果は限定的であり、高価な元素でもあるので、溶接金属へのNi含有量は0.7%未満とする。必要に応じて、Ni含有量の上限を0.6%、0.4%又は0.2%としてもよい。Ni含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Ni含有量の下限は0%である。一方、韌性向上効果を得るために、溶接金属に0.05%以上含有させてもよい。

[0042] (Cr : 0~2.5%)

Crは、焼入性を高めることにより溶接金属の硬さ向上に有効な元素であり、選択元素として含有できる。しかしながら、2.5%を超えて過剰に含有させると、韌性を低下させることがあるため、Cr含有量は2.5%を上限とする。必要に応じて、Cr含有量の上限を1.5%、1.0%、0.7%又は0.4%としてもよい。Cr含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Cr含有量の下限は0%である。一方、溶接金属の硬さ向上の目的で添加する場合には、その効果を得るために0.1%以上含有させてもよい。

[0043] (Mo : 0~1.0%)

Moは、焼入性を高めることにより溶接金属の硬さ向上に有効な元素であり、選択元素として含有できる。しかしながら、1.0%を超えて過剰に含有させると、韌性を低下させることがあるため、Mo含有量は1.0%を上限とする。必要に応じて、Mo含有量の上限を0.7%、0.6%、0.4%又は0.2%としてもよい。Mo含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Mo含有量の下限は0%である。一方、硬さ向上の目的で添加する場合には、その効果を得るために0.05%以上含有させてもよい。

[0044] (Ti : 0~0.10%)

TiもAlと同様、脱酸元素として有効であり、溶接金属中のO量を低減させる効果があり、選択元素として含有できる。また、固溶Nを固定して韌性への悪影響を緩和するためにも有効であるが、溶接金属中のTi含有量が

0.10%を超えて過剰になると、粗大な酸化物の形成に起因した靱性劣化、過度な析出強化による靱性劣化が生じる可能性が大きくなるので、Ti含有量の上限は0.10%とする。必要に応じて、Ti含有量の上限を0.08%、0.05%、0.03%又は0.02%としてもよい。Ti含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Ti含有量の下限は0%である。靱性改善の目的に、0.01%以上含有させてもよい。

[0045] (Nb : 0~0.10%)

Nbは固溶により溶接金属の硬さを向上させる効果があり、選択元素として含有できる。しかしながら、0.10%を超えて含有させると、溶接金属中に過剰に含有され、粗大な析出物を形成して靱性を劣化させるため好ましくない。Nb含有量の上限を0.10%とする。必要に応じて、Nb含有量の上限を0.08%、0.05%、0.03%又は0.02%としてもよい。Nb含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Nb含有量の下限は0%である。溶接金属の硬さ向上目的に0.01%以上含有させてもよい。

[0046] (V : 0~0.30%)

Vは、焼入性を高めることにより溶接金属の硬さ向上に有効な元素であり、選択元素として含有できる。しかしながら、0.30%を超えて過剰に含有させると、靱性を低下させることがあるため、V含有量は0.30%を上限とする。必要に応じて、V含有量の上限を0.25%、0.20%又は0.15%としてもよい。V含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、V含有量の下限は0%である。溶接金属の硬さ向上のために0.01%以上含有させてもよい。

[0047] (B : 0~0.0100%)

Bは、溶接金属中に適正量含有させると、固溶Nと結びついてBNを形成して、固溶Nの靱性に対する悪影響を減じる効果がある。またBは、焼入性を高めて強度向上に寄与する効果もあり、選択元素として含有できる。これらの効果を得るために0.0003%以上含有させてもよい。一方、B含有

量が0.0100%超になると、溶接金属中のBが過剰となり、粗大なBNやFe₂₃(C、B)₆等のB化合物を形成して靱性を逆に劣化させるため、好ましくない。そこで、Bを含有させる場合のB含有量の上限は0.0100%とする。必要に応じて、B含有量の上限を0.0080%、0.0060%、0.0040%又は0.0020%としてもよい。B含有量の下限を制限する必要はなく、B含有量の下限は0%である。

[0048] (Mg : 0~0.10%)

Mg含有量の下限を制限する必要はなく、Mg含有量の下限は0%である。しかし、Mgは強脱酸元素であり、溶接金属中のO量を低減し、溶接金属の延性及び靱性を向上させるために、0.001%以上含有させてもよい。しかし、溶接金属中のMg含有量が0.10%を超えると、溶接金属中の粗大酸化物の形成による靱性低下が無視できなくなる。このため、Mgを含有させる場合にも、Mg含有量を0.10%以下とする。必要に応じて、Mg含有量の上限を0.0080%、0.0060%、0.0040%又は0.0020%としてもよい。

[0049] (Ca : 0~0.10%)

(REM : 0~0.0100%)

CaおよびREM含有量の下限を制限する必要はなく、CaおよびREM含有量の下限は0%である。しかし、Ca、REMはいずれも溶接金属中の硫化物の構造を変化させ、また硫化物、酸化物のサイズを微細化して延性及び靱性向上に有効であり、Caを0.002%以上、REMを0.0002%以上、含有してもよい。一方、過剰に含有すると、硫化物や酸化物の粗大化を生じ、延性、靱性の劣化を招くため、含有させる場合のそれぞれの上限を、Caでは0.10%、REMでは0.0100%とする。

[0050] 以上の化学組成を含有する溶接金属は、鉄を主成分とする残部が本発明の特性を阻害しない範囲で、製造過程等で混入する不純物を含有してもよい。

[0051] (CEN : 0.20~0.58%)

図2に示すように、HV380以上、HV533以下の溶接金属において

、溶接金属中の拡散性水素量が $1.0\text{ ml}/100\text{ g}$ 未満であるとき、式1で計算されるCENを 0.58% 以下とすることで、JIS Z3158のy形溶接割れ試験において、割れ発生限界予熱温度が 25°C 以下となり、実質的に予熱なしでの溶接が可能となる。

ここで、溶接割れを確実に防止するために、CENの上限を 0.55% 、 0.53% 、 0.50% 、 0.47% 又は 0.45% としてもよい。溶接金属の硬さをHV380以上とするために、CENの下限を 0.20% とする。溶接金属の硬さが高い方が、耐摩耗性が向上するため、CENの下限を 0.24% 、 0.28% 、 0.30% 又は 0.32% としてもよい。

(a) 母材のビッカース硬さHVが380以上514以下(HB360以上475以下に相当)であり、母材の板厚が20~100mmであり、母材のCの含有量が $0.12\sim0.30\%$ であり、式1で計算されるCENが、 $0.20\sim0.75\%$ である母材。

(b) 母材のビッカース硬さHVが514超565以下(HB475超530以下に相当)であり、母材の板厚が12~100mmであり、母材のCの含有量が $0.12\sim0.30\%$ であり、式1で計算されるCENが、 $0.20\sim0.75\%$ である母材。

(c) 母材のビッカース硬さHVが565超693以下(HB530超650以下に相当)であり、母材の板厚が8~12mmであり、母材のCの含有量が $0.35\sim0.45\%$ であり、式1で計算されるCENが、 $0.20\sim0.85\%$ である母材。

上記(a)~(c)のいずれかひとつを満足する母材に対し、ガスシールドアーク溶接時に、母材の温度が 10°C 以上の場合、溶接時の予熱作業を行う必要がない。この母材の温度(予熱温度)の上限を特に定める必要はないが、 75°C 未満又は 50°C 未満としても差し支えない。

(d) 母材のビッカース硬さHVが565超693以下(HB530超650以下に相当)であり、母材の板厚が12~20mmであり、母材のCの含有量が $0.35\sim0.45\%$ であり、式1で計算されるCENが、 0.2

0～0.85%である母材。

(e) 母材のビッカース硬さHVが565超693以下(HB530超650以下に相当)であり、母材の板厚が20mm超50mm以下であり、母材のCの含有量が0.35～0.45%であり、式1で計算されるCENが、0.20～0.85%である母材。

上記(d)または(e)を満足する母材に対し、ガスシールドアーク溶接時に、母材の板厚が20mm以下の場合、母材を100℃以上に予熱を行い、母材の板厚が20mm超の場合、母材を150℃以上の予熱を行う。この母材の温度(予熱温度)の上限を特に定める必要はないが、175℃未満又は150℃未満としても差し支えない。また、HV380以上にするために、CENを0.20%以上とする。

$$\begin{aligned} \text{CEN} = & [\text{C}] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([\text{C}] - 0.12))) \times ([\text{Si}] / 24 + [\text{Mn}] / 6 + [\text{Cu}] / 15 + [\text{Ni}] / 20 + ([\text{Cr}] + [\text{Mo}] + [\text{Nb}] + [\text{V}]) / 5 + 5 \times [\text{B}]) \\ & \dots (\text{式1}) \end{aligned}$$

ただし、[]付元素は、それぞれの元素の含有量(質量%)を表す。

[0052] 式1では、含有されていない元素は、その元素に対応する[]内にゼロを代入する。この計算方法は、母材(鋼板)および溶接金属、共通である。

[0053] 本発明では、溶接金属について、さらに、その最表層の表面下1mmの平均ビッカース硬さがHV380以上HV533以下で、溶接直後の拡散性水素量が1.0ml/100g未満であるようにする。

表面下1mmの位置の硬さが、HV380以上、HV533以下となれば、溶接金属に必要な耐摩耗性の要件を満たす。HV380未満では、耐摩耗性が不足する。HV533を超えると、低温割れが発生しやすくなる。

硬さの測定は、溶接金属において、溶接方向と垂直の断面を切断し、研磨したサンプルを採取し、溶接金属の表面下1mmの位置のビッカース硬さを10点測定し、平均値を算出することによって求めるものとする。

[0054] また、溶接直後における溶接金属中の拡散性水素量については、図1を引

用して先に説明したように、 $1.0\text{ m l} / 100\text{ g}$ 未満であれば、低温割れ発生限界予熱温度は、溶接金属の硬さにはあまり依存せず、硬さがHV380以上、HV533以下の溶接金属の低温割れ感受性を大きく低減することができる。

拡散性水素量は、JIS Z 3118（鋼溶接部の水素量測定方法；2007年）に準拠したガスクロマトグラフ法により測定する。

なお、水素の拡散速度は常温で比較的大きいため、溶接金属の拡散性水素量は溶接直後に測定する必要がある。このため、溶接直後に測定しない限り、拡散性水素量を正確に測定できない。

[0055] 以上のような溶接金属を有する溶接継手を製造するには、溶接しようとする高硬度厚鋼板を母材とし、例えば、上記母材2枚を間に開先を形成するように溶接位置にセットし、フラックス入り溶接ワイヤを用いてガスシールドアーク溶接を行い、母材間に溶接金属を生成させることによって、溶接金属とその両側の母材鋼板とから成る溶接継手が形成される。

以下、上記溶接金属を形成するために用いられる、鋼板、フラックス入り溶接ワイヤ及び溶接条件などについて説明する。

[0056] 母材とする鋼板としては、C含有量が、質量%で、0.12%以上、0.45%以下であり、HV380以上、HV693以下である高硬度厚鋼板を対象とする。

用いる鋼板の板厚としては、一般的に厚板といわれる6mm以上100mm以下のものを対象としている。

このような条件を満たす鋼板は、土木・建築作業用の機械など、耐摩耗性が必要な個所に広く用いられているもので、C含有量以外の化学組成について特に限定されるものではないが、一例をあげれば、

C : 0.12~3.0%、Si : 0.10~0.55%、Mn : 0.2~2.0%、Al : 0.01~0.10%、P : 0.02%以下、S : 0.015%以下、Cu : 0.5%以下、Ni : 1.0%以下、Cr : 1.2%以下、Mo : 0.6%以下、Nb : 0.05%以下、V : 0.10%以下、B

: 0.0050%以下を含有する鋼がある。また、式1で計算されるCENが0.20~0.85%であるものを対象としている。

母材の溶接熱影響部(HAZ)で溶接割れを生じないようにするために、CENの上限を0.85%とする。より確実にHAZ部での溶接割れを防止するために、CENの上限を0.80%、0.75%、0.73、0.70%、0.68%、0.65%、0.63%又は0.60%としてもよい。母材の硬さをHV380以上とするために、CENの下限を0.20%とする。母材の硬さを高めるため、CENの下限を0.24%、0.28%、0.30%、0.32%、0.35%又は0.38%としてもよい。母材の硬さがHV565以下の鋼板は一般的にCENが0.75%を超えることは少ないため、母材の硬さがHV565以下の鋼板のCENの上限を0.75%とする。

母材の硬さの測定方法は、母材の板厚方向断面の表面下1mmの位置のビッカース硬さを5点以上測定し、平均値を求める方法とする。

[0057] 続いて、用いるフラックス入り溶接ワイヤについて、フラックス成分と合金成分とに分けて説明する。なお、フラックス入り溶接ワイヤについての説明中の成分の含有量は、フラックス入り溶接ワイヤ全質量に対する質量%を表す。

最初に、ワイヤの鋼製外皮の内部に挿入されるフラックス成分について説明する。

[0058] CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 の金属弗化物の1種または2種以上と、Ti酸化物(TiO_2)、Si酸化物(SiO_2)、Mg酸化物(MgO)、Al酸化物(Al_2O_3)の金属酸化物の1種または2種以上を、溶接ワイヤ中に一定量含有させ、かつそれらの弗化物と酸化物との比を一定範囲とすることで、溶接金属中の拡散性水素量を安定して1.0ml/100g未満とすることができる。

この効果を得るには、含有する CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 の合計量を α としたとき、合計量 α が3.3%以上、8.0%以下であること、

また含有するTi酸化物、Si酸化物、Mg酸化物、Al酸化物の合計量を β としたとき、合計量 β が0.10%以上、1.50%以下であること、さらに上記 α に対する上記CaF₂の含有量の比が0.90以上であり、上記合計量 β に対する上記合計量 α の比（ $[\text{合計量}\alpha] / [\text{合計量}\beta]$ ）が3.0以上、80.0以下であることが要件となる。

[0059] 含有する金属弗化物の合計量 α が3.3%未満では、溶接金属中の拡散性水素量を安定して1.0ml/100g未満とすることができない。溶接金属中の拡散性水素量をより低減するために、合計量 α の下限を3.5%、3.7%又は3.9%としてもよい。また、8.0%を超えると、溶接ヒューム、スラグが過剰に生成するため、溶接作業性が著しく低下し、好ましくない。溶接ヒュームやスラグの過剰生成などを回避するために、合計量 α の上限を7.5%、7.0%、6.5%、6.0%又は5.7%としてもよい。含有する金属酸化物の合計量 β が0.10%未満では、溶接ビードの形状が悪くなることがあり、1.50%超では、靱性を低下させることがある。溶接ビードの形状をよくするため、合計量 β の下限を0.20%、0.30%、0.40%又は0.50%としてもよい。靱性の改善のため、合計量 β の上限を1.30%、1.20%、1.10%、1.00%、0.90%又は0.80%としてもよい。

さらに、上記合計量 β に対する上記合計量 α の比が3.0未満では、溶接金属中の拡散性水素量を安定して1.0ml/100g未満とすることができず、80.0超では、溶接ヒューム、スラグが過剰に生成するため、溶接作業性が著しく低下し、好ましくない。溶接金属中の拡散性水素量をより低減するために、上記比（ $[\text{合計量}\alpha] / [\text{合計量}\beta]$ ）の下限を3.2、3.5、3.7又は4.0にしてもよい。溶接ヒュームやスラグの過剰生成などを回避するために、上記比（ $[\text{合計量}\alpha] / [\text{合計量}\beta]$ ）の上限を40.0、30.0、20.0、15.0又は13.0としてもよい。

[0060] 以上から、含有する金属弗化物の合計量 α 、金属酸化物の合計量 β 、および金属酸化物の合計量 β に対する金属弗化物の合計量 α の比を、それぞれ上

記のように限定する。

なお、上記合計量 β は、フラックス入りワイヤ中の含有量であり、フラックスの造粒に使用されるバインダー（ SiO_2 を主成分とする水ガラス）などに含まれるものも合計した含有量とする。

[0061] 本発明のフラックス入り溶接ワイヤでは、 CaCO_3 、 BaCO_3 、 SrCO_3 、 MgCO_3 の金属炭酸塩の1種または2種以上を、アーク安定性作用とアーク集中性を高める目的でさらに添加できるが、0.60%以上添加すると、アークの集中性が強すぎてスパッタ発生量が多く、溶接金属の酸素量も多くなる。したがって、これらの金属炭酸塩を含有させる場合には、その含有量を合計で0.60%未満とする。これらの金属炭酸塩の含有量の合計の下限は0%である。スパッタ発生量の抑制のため、その上限を0.50%、0.40%、0.20%又は0.10%としてもよい。

[0062] 金属弗化物が拡散性水素量を低減する理由については、必ずしも明らかではないが、金属弗化物が溶接アークにより分解し、生成されたフッ素が水素と結合してHFガスとして大気中に散逸したか、あるいは、そのまま溶接金属中に水素がHFとして固定されたためではないかと考えている。

[0063] また、本発明においては、フラックスにCaOは添加しないことが好ましい。しかしながら、フラックスの原料にCaOが含有されている場合がある。その場合、CaOの含有量を0.20%未満に制限する。好ましくは0.15%以下又は0.10%以下とする。0.20%未満に制限すれば、本発明の効果は得られる。CaOは、大気に触れることで、CaOHに変化するため、溶接金属中の拡散性水素を増加させる可能性がある。

[0064] 金属弗化物、金属酸化物、および金属炭酸塩を除く、フラックス入りワイヤ中の合金元素量も以下のように限定される。

[0065] (C : 0.06~0.35%)

フラックス入りワイヤ中のC含有量が0.06%未満であると、溶接金属のC含有量が0.12%未満になるので、フラックス入りワイヤ中のC含有量は0.06%以上とする。溶接金属の硬さの向上のため、C含有量の下限

を0.07%、0.08%、0.09%、0.10%又は0.11%としてもよい。フラックス入りワイヤ中のC含有量が0.35%を超えると、溶接金属のC含有量が0.25%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のC含有量は0.35%以下とする。溶接金属の耐低温割れ性の改善のため、C含有量の上限を0.30%、0.25%、0.18%、0.17%又は0.16%としてもよい。

[0066] (Si : 0.05~1.8%)

フラックス入りワイヤ中のSi含有量が0.05%未満であると、溶接金属のSi含有量が0.05%未満になるので、フラックス入りワイヤ中のSi含有量は0.05%以上とする。溶接金属中のO含有量の低減のため、Si含有量の下限を0.10%、0.20%、0.30%又は0.40%としてもよい。フラックス入りワイヤ中のSi含有量が1.8%を超えると、酸化消耗を考慮しても溶接金属のSi量が0.80%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のSi含有量は1.8%以下とする。溶接金属の靱性改善のため、Si含有量の上限を1.5%、1.2%、1.0%、0.8%又は0.6%としてもよい。

[0067] (Mn : 0.5~4.0%)

フラックス入りワイヤ中のMn含有量が0.5%未満であると、溶接金属のMn含有量が0.2%未満になるので、フラックス入りワイヤ中のMn含有量は0.5%以上とする。溶接金属の硬さの向上のため、Mn含有量の下限を0.7%、0.8%、0.9%、1.0%又は1.1%としてもよい。フラックス入りワイヤ中のMn含有量が4.0%を超えると、酸化消耗を考慮しても溶接金属のMn量が2.5%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のMn量は4.0%以下とする。溶接金属の靱性改善のため、Mn含有量の上限を3.0%、2.5%、2.2%、2.0%又は1.8%としてもよい。

[0068] (P : 0.05%以下)

フラックス入りワイヤ中のP含有量が0.05%を超えると、溶接金属の

P含有量が0.05%を超えてしまうことがあるので、フラックス入りワイヤ中のP含有量は0.05%以下とする。必要に応じて、P含有量の上限を0.03%、0.025%、0.02%又は0.015%に制限してもよい。P含有量の下限を制限する必要はない。P含有量の下限は0%である。

[0069] (S : 0.02%以下)

フラックス入りワイヤ中のS含有量が0.02%を超えると、溶接金属のS含有量が0.02%を超えてしまうことがあるので、フラックス入りワイヤ中のS含有量は0.02%以下とする。必要に応じて、S含有量の上限を0.015%、0.01%、0.008%又は0.006%に制限してもよい。S含有量の下限を制限する必要はない。S含有量の下限は0%である。

[0070] (Al : 0.005~0.15%)

フラックス入りワイヤ中のAl含有量が0.005%未満であると、溶接金属のAl含有量が0.005%未満になるので、フラックス入りワイヤ中のAl含有量は0.005%以上とする。溶接金属中のO量の一層の低減のため、Al含有量の下限を0.007%、0.010%又は0.012%としてもよい。フラックス入りワイヤ中のAl含有量が0.15%を超えると、溶接金属のAl含有量が0.10%を超えてしまうことがあるので、フラックス入りワイヤ中のAl含有量は0.15%以下とする。溶接金属の靱性改善のため、Al含有量の上限を0.09%、0.07%、0.05%又は0.04%に制限してもよい。

[0071] (Cu : 0~0.75%以下)

フラックス入りワイヤ中のCu含有量が0.75%を超えると、溶接金属のCu含有量が0.50%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のCu含有量は0.75%以下とする。溶接金属のCu含有量を低減するために、Cu含有量を0.5%以下としてもよい。必要に応じて、Cu含有量の上限を0.4%又は0.3%としてもよい。Cu含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Cu含有量の下限は0%である。一方、溶接金属の硬さを向上させるために、溶接金属にCuを0.1%以上含有させてもよい。

[0072] (Ni : 0 ~ 1.0 %)

フラックス入りワイヤ中のNi含有量が1.0%以上であると、溶接金属のNi含有量が0.7%以上となり、ワイヤの合金コストが高くなるので、フラックス入りワイヤ中のNi含有量は1.0%以下とする。溶接金属の凝固割れの防止のため、Ni含有量の上限を、0.5%、0.4%、0.3%、0.2又は0.1%としてもよい。Ni含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Ni含有量の下限は0%である。

[0073] (Cr : 0 ~ 3.5 %)

フラックス入りワイヤ中のCr含有量が3.5%を超えると、溶接金属のCr含有量が2.5%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のCr含有量は3.5%以下とする。必要に応じて、Cr含有量の上限を1.5%、1.0%、0.5%又は0.1%としてもよい。Cr含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Cr含有量の下限は0%である。一方、溶接金属の硬さ向上の目的で添加する場合には、その効果を得るために0.05%以上含有させてもよい。

[0074] (Mo : 0 ~ 1.5 %)

フラックス入りワイヤ中のMo含有量が1.5%を超えると、溶接金属のMo含有量が1.0%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のMo含有量は1.5%以下とする。靱性向上のため、Mo含有量の上限を0.7%、0.5%、0.3%又は0.2%としてもよい。Mo含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Mo含有量の下限は0%である。一方、溶接金属の硬さ向上の目的で添加する場合には、その効果を得るために0.05%以上含有させてもよい。

[0075] (Ti : 0 ~ 0.15 %)

フラックス入りワイヤ中のTi含有量が0.15%を超えると、溶接金属のTi含有量が0.10%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のTi含有量は0.15%以下とする。靱性向上のため、Ti含有量の上限を0.10%、0.08%又は0.05%としてもよい。Ti含有量の下限を

制限しなくてもよい。このため、Ti含有量の下限は0%である。靱性改善の目的に、0.01%以上含有させてもよい。

[0076] (Nb : 0~0.15%)

フラックス入りワイヤ中のNb含有量が0.15%を超えると、溶接金属のNb含有量が0.10%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のNb含有量は0.15%以下とする。靱性向上のため、Nb含有量の上限を0.10%、0.08%又は0.05%としてもよい。Nb含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、Nb含有量の下限は0%である。溶接金属の硬さ向上の目的で0.01%以上含有させてもよい。

[0077] (V : 0~0.45%)

フラックス入りワイヤ中のV含有量が0.45%を超えると、溶接金属のV含有量が0.30%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のV含有量は0.45%以下とする。靱性向上のため、V含有量の上限を0.25%、0.20%又は0.15%としてもよい。V含有量の下限を制限しなくてもよい。このため、V含有量の下限は0%である。溶接金属の硬さ向上のために0.01%以上含有させてもよい。

[0078] (B : 0~0.050%)

フラックス入りワイヤ中のB含有量が0.050%を超えると、溶接金属のB含有量が0.0100%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のB含有量は0.050%以下とする。靱性の向上のため、B含有量の上限を0.040%、0.020%、0.010%又は0.005%としてもよい。B含有量の下限を制限する必要はなく、B含有量の下限は0%である。

[0079] (Mg : 0~2.0%)

フラックス入りワイヤ中のMg含有量が2.0%を超えると、溶接金属のMg含有量が0.10%を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のMg含有量は2.0%以下とする。溶接金属の靱性と延性の改善のため、Mg含有量の上限を1.5%、1.0%、0.4%又は0.2%としてもよい。Mg含有量の下限を制限する必要はなく、Mg含有量の下限は0%である。

[0080] (C a : 0 ~ 2. 0 %)

フラックス入りワイヤ中のC a含有量が2. 0 %を超えると、溶接金属のC a含有量が0. 1 0 %を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のC a含有量は2. 0 %以下とする。溶接金属の靱性と延性の改善のため、C a含有量の上限を1. 5 %、1. 0 %、0. 5 %又は0. 3 %としてもよい。C a含有量の下限を制限する必要はなく、C a含有量の下限は0 %である。

[0081] (R E M : 0 ~ 0. 0 1 5 0 %)

フラックス入りワイヤ中のR E M含有量が0. 0 1 5 0 %を超えると、溶接金属のR E M含有量が0. 0 1 0 0 %を超えてしまうので、フラックス入りワイヤ中のR E M含有量は0. 0 1 5 0 %以下とする。溶接金属の靱性と延性の改善のため、R E M含有量の上限を0. 0 1 0 0 %、0. 0 0 5 0 %又は0. 0 0 3 0 %としてもよい。R E M含有量の下限を制限する必要はなく、R E M含有量の下限は0 %である。

[0082] 以上が本発明のフラックス入りワイヤの化学組成に関する限定理由である。その他の残部の合金の化学成分は、F eを主成分とする残部が本発明の特性を阻害しない範囲で、製造過程等で混入する不純物を含有してもよい。F e成分としては、鋼製外皮のF e、フラックス中に添加された鉄粉及び合金成分中のF eが含まれる。フラックス中の鉄粉の含有量は、1 0 %未満とする。鉄粉含有量が多いと、酸素量が多くなる場合がある。必要に応じて、鉄粉の含有量を5 %未満又は1 %未満としてもよい。

[0083] 続いて、フラックス入りワイヤの形態について説明する。

フラックス入りワイヤには、鋼製外皮にスリット状の継目がないシームレスワイヤと、鋼製外皮の継目にスリット状の隙間を有するシームを有するワイヤとに大別できる。本発明ではいずれの断面構造も採用することができるが、溶接金属の低温割れを抑制するためには、シームレスワイヤとすることが好ましい。

[0084] 溶接時に溶接部に侵入する水素は、溶接金属内及び鋼材側に拡散し、応力集中部に集積して低温割れの発生原因となる。この水素源は溶接材料が保有

する水分、大気から混入する水分、鋼表面に付着した錆びやスケール等が上げられるが、十分に溶接部の清浄性、ガスシールドの条件が管理された溶接の下では、ワイヤ中に主として水分で含有される水素が、溶接継ぎ手中に存在する拡散性水素の主要因となる。

[0085] このため、鋼製外皮をシームレスの管とし、ワイヤ製造後から使用するまでの間に、鋼製外皮からフラックスへの大気中の水素の侵入を抑制することが望ましい。鋼製外皮にシームを有する管とした場合、大気中の水分は外皮のシーム部からフラックス中に侵入しやすく、そのままでは、水分等の水素源の侵入を防止することはできない。従って、製造後使用するまでの期間が長い場合、ワイヤ全体を真空包装するか、乾燥した状態に保持できる容器内で保存することが望ましい。

また、ワイヤの送給性をよくするため、ワイヤ表面に潤滑油が塗布される場合がある。拡散性水素を低減する観点から、ワイヤ表面に塗布される潤滑油は、パーフルオロポリエーテル（P F P E）油のように水素分を含まない油が好ましい。

[0086] 本発明で用いるフラックス入りワイヤは、通常のフラックス入りワイヤの製造方法と同様の製造工程によって製造することができる。

すなわち、まず、外皮となる鋼帯、及び、金属弗化物、合金成分、金属酸化物、金属炭酸塩及びアーク安定剤が所定の含有量になるように配合したフラックスを準備する。鋼帯を長手方向に送りながら成形ロールによりオープン管（U字型）に成形して鋼製外皮とし、この成形途中でオープン管の開口部からフラックスを供給し、開口部の相対するエッジ面を突合せシーム溶接する。溶接により得られた継目無し管を伸線し、伸線途中あるいは伸線工程完了後に焼鈍処理して、所望の線径を有するシームレスワイヤを得る。また、一部は、シーム溶接をしない継目有りの管とし、それを伸線することでシームを有するワイヤを得る。

[0087] 本発明では、上記鋼板に対して、上述した条件に適合するフラックス入りワイヤを使用して、ガスシールドアーク溶接による多層盛溶接を行って、上

述した条件に適合する溶接金属を形成することによって、目的を達成することができるものであり、ガスシールドアーク溶接の方法は、特に限定されず、通常用いられる方法を採用することができる。例えば、シールドガスとしては、100%CO₂ガスの他、Arガスと3~20vol%のCO₂ガスとの混合ガスなどを用いることができる。

また、電流、電圧などの溶接条件については、例えば電流200~350A、電圧25~35Vなどである。溶接入熱が10~50kJ/cmとなるように、溶接速度を制御してもよい。

[0088] 製造される溶接継手の形状は、用途等に応じて決定され、特に限定されるものではない。通常の突合せ継手、角継手、T継手など、開先を形成する溶接継手に適用できる。したがって、溶接される鋼板の形状も、少なくとも溶接継手を形成する部分が板状であればよく、全体が板でなくともよく、例えば、形鋼なども含むものである。また、別々の鋼板から構成されるものに限定されず、1枚の鋼板を管状などの所定の形状に成形したものの突合せ溶接継手であってもよい。

実施例

[0089] 次に、実施例により本発明の実施可能性および効果について説明する。

表1に示す成分の鋼板を母材として使用した。また、溶接の裏当金には母材と同じ鋼板を使用した。

鋼帯を長手方向に送りながら成形ロールによりオープン管に成形し、この成形途中でオープン管の開口部からフラックスを供給し、開口部の相対するエッジ面を突合わせシーム溶接することで継目無し管とし、造管したワイヤの伸線作業の途中で焼鈍を加え、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。また、一部は、シーム溶接をしない継目有りの管とし、それを伸線することで、ワイヤ径がφ1.2mmのフラックス入りワイヤを試作した。

試作したフラックス入りワイヤの化学成分の分析は以下のように行った。まず、充填されたフラックスをフラックス入りワイヤから取り出し、フラッ

クス入りワイヤを鋼製外皮とフラックスとに分けた。鋼製外皮の化学成分は、化学分析によって各金属成分の含有量を測定することにより求められた。フラックスは、先ずX線回折、及び蛍光X線分析によって構成物および成分についての定量評価が行われた。この後、浮遊選鉱、及び磁力選鉱などの選鉱法を用いてフラックスをスラグ分と合金分とに分離し、それぞれの化学成分を、化学分析、及びガス分析などを行うことで分析した。試作したフラックス入りワイヤの化学組成を表2-1～表2-4、表3-1～表3-4に示す。

[0090] このフラックス入りワイヤを用い、上記の母材を、ルートギャップ16 mm、開先角度20°で突き合わせ、裏当金を用いて、表4-1～表4-3に示す溶接条件で溶接を実施した。母材の開先面及び裏当金の表面には、試験を行うフラックス入りワイヤを用いて2層以上、かつ余盛高さ3 mm以上のバタリングを実施した。

ここで、Ti酸化物、Si酸化物、Mg酸化物、Al酸化物は、それぞれTiO₂、SiO₂、MgO、Al₂O₃を使用した。表2-2、表2-4において、金属炭酸塩とはCaCO₃、BaCO₃、SrCO₃、MgCO₃である。

[0091] 得られた溶接金属の化学組成分析結果を表5-1、表5-2、表5-4、表5-5、表5-7、表5-8に示す。この溶接金属から、溶接方向と垂直の断面を研磨したサンプルを採取し、溶接金属の表面下1 mmの位置のビッカース硬さを10点測定し、SAE J417（1983年）硬さ換算表からブリネル硬さに換算した。また、JIS Z3111（2005年）に準拠した4号シャルピー試験片（2 mm Vノッチ）を採取し、溶接金属の-40℃でのシャルピー吸収エネルギーを測定した。この-40℃吸収エネルギーが27 J以上のものを合格とした。

得られた硬さおよびシャルピー試験の結果を表5-3、表5-6、表5-9に示す。

[0092] また、それぞれ同じ溶接条件にて、低温割れ試験と拡散性水素量測定試験

を行った。低温割れ試験は、J I S Z 3 1 5 8（y形溶接割れ試験方法；1993年）に準拠し、室温（25℃）にて試験を実施し、表面および断面に割れがないことをもって合格とした。拡散性水素量測定試験は、J I S Z 3 1 1 8（鋼溶接部の水素量測定方法；2007年）に準拠したガスクロマトグラフ法にて実施した。

それぞれの結果を表5-3、表5-6、表5-9に示す。

[0093] 溶接中、ヒュームまたはスラグの発生の著しい水準は、溶接作業性が不良と判定した。ヒューム、スラグとも発生が少ない水準を溶接作業性が良好と判定した。それぞれの結果を表5-3、表5-6、表5-9に示す。

[0094] 表5-3の試験結果に示されるように、本発明例である実施例1～47の溶接金属は、硬さ、靱性、耐低温割れ性、溶接作業性のすべてが優れ、合格であった。

一方、表5-6、表5-9の試験結果に示されるように、比較例101～166の溶接金属は、本発明で規定する要件を満たしていないため、硬さ、靱性、耐低温割れ性、溶接作業性の少なくとも1つ以上が不合格となった。表5-4～表5-9の比較例における下線の数字は、本発明範囲外であることを示す。

[0095]

[表1]

母材 番号	母材（鋼板）の化学成分【質量%】														板厚 [mm]	ビッカース 硬さ HV	CEN [質量%]
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V	Cu	Cr	Mo	Ti	Nb	B			
1	0.267	0.25	1.11	0.007	0.004	0.04				0.53		0.012	0.01	0.0014	32	521	0.58
2	0.287	0.38	1.18	0.012	0.006	0.06				0.47	0.25		0.02	0.0012	25	551	0.65
3	0.165	0.52	1.35	0.013	0.006	0.02				0.55	0.32	0.012		0.0014	50	434	0.56
4	0.188	0.27	0.97	0.008	0.005	0.03				0.84		0.012		0.0009	22	448	0.52
5	0.244	0.26	0.67	0.012	0.003	0.03	0.54	0.08	0.23	0.47		0.018	0.02	0.0013	32	505	0.53
6	0.215	0.31	1.87	0.012	0.003	0.04									25	498	0.54
7	0.378	0.21	0.56	0.011	0.004	0.04				0.34		0.012		0.0014	16	581	0.56
8	0.392	0.22	0.54	0.012	0.006	0.03				0.41		0.013		0.0013	32	594	0.58
9	0.385	0.27	0.67	0.011	0.005	0.05				0.37		0.011		0.001	11	601	0.59

[0096]

[表2-1]

ワイヤ 番号	区分	備考	フラックス組成[ワイヤの全質量に対する質量%]				
			金属弗化物				
			CaF ₂	BaF ₂	SrF ₂	MgF ₂	合計量 α
1	実施例		3.7				3.7
2	実施例		3.6				3.6
3	実施例		7.5	0.4			7.9
4	実施例	PFPE油塗布※	6.3				6.3
5	実施例		6.7				6.7
6	実施例	シームレス※※	4.3				4.3
7	実施例		4.1		0.3		4.4
8	実施例		7.1				7.1
9	実施例		6.1				6.1
10	実施例		5.2				5.2
11	実施例		7.6	0.3			7.9
12	実施例	PFPE油塗布※	4.1			0.3	4.4
13	実施例		4.5		0.2		4.7
14	実施例	シームレス※※	3.5			0.2	3.7
15	実施例		3.4				3.4
16	実施例		6.2				6.2
17	実施例		4.1				4.1
18	実施例		6.5				6.5
19	実施例		7.8				7.8
20	実施例	PFPE油塗布※	6.4				6.4
21	実施例		4.8				4.8
22	実施例	シームレス※※	5.4	0.3	0.2		5.9
23	実施例		3.8			0.3	4.1
24	実施例		4.8				4.8
25	実施例		3.5				3.5
26	実施例		3.9				3.9
27	実施例		5.1			0.5	5.6
28	実施例	PFPE油塗布※	4.2				4.2
29	実施例		6.2		0.3		6.5
30	実施例	シームレス※※	7.7	0.3			8.0
31	実施例		4.1				4.1
32	実施例		6.3				6.3
33	実施例		3.7				3.7
34	実施例		5.9				5.9
35	実施例		7.2		0.2	0.4	7.8
36	実施例	PFPE油塗布※	6.3				6.3
37	実施例		4.6				4.6
38	実施例	シームレス※※	5.4	0.3	0.1		5.8
39	実施例		4.2				4.2
40	実施例		5.2				5.2
41	実施例		5.2				5.2
42	実施例		5.3				5.3
43	実施例		4.6				4.6
44	実施例		4.4				4.4
45	実施例		4.2				4.2
46	実施例		4.1				4.1
47	実施例		4.3				4.3

※PFPE油：パーフルオロポリエーテル油

※※シームレス：鋼製外皮がシームレス形状

[0097] [表2-2]

ワイヤ 番号	フラックス組成 [ワイヤの全質量に対する質量%]						鉄粉	金属 炭酸塩	[合計量 α]/ [合計量 β]	[CaF ₂]/ [合計量 α]
	金属酸化物					合計量 β				
	TiO ₂	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO					
1	0.15	0.52			0.02	0.67			5.5	1.00
2	0.15				0.04	0.15		0.13	24.0	1.00
3	0.25	0.22			0.05	0.47			16.8	0.95
4		0.31		0.09	0.01	0.40			15.8	1.00
5	0.24	0.15			0.05	0.39	1.2		17.2	1.00
6		0.51	0.23		0.03	0.74			5.8	1.00
7	0.22	0.82			0.09	1.04			4.2	0.93
8		0.33			0.04	0.33	2.7		21.5	1.00
9	0.29	0.38			0.02	0.67			9.1	1.00
10	0.12	0.18		0.05	0.04	0.35		0.17	14.9	1.00
11	0.27	0.29			0.05	0.56			14.1	0.96
12		0.29			0.01	0.29			15.2	0.93
13		0.27	0.33		0.05	0.60			7.8	0.96
14	0.18				0.05	0.18			20.6	0.95
15	0.42	0.62			0.09	1.04			3.3	1.00
16		0.44			0.04	0.44	3.8		14.1	1.00
17	0.37	0.27			0.02	0.64			6.4	1.00
18	0.11	0.24			0.12	0.35		0.08	18.6	1.00
19	0.27	0.21			0.05	0.48			16.3	1.00
20		0.31	0.03	0.14	0.01	0.48			13.3	1.00
21		0.21	0.21		0.05	0.42			11.4	1.00
22	0.15				0.03	0.15			39.3	0.92
23	0.52	0.41			0.09	0.93			4.4	0.93
24		0.21			0.04	0.21	4.2		22.9	1.00
25	0.35	0.32			0.05	0.67			5.2	1.00
26	0.13	0.24			0.01	0.37		0.11	10.5	1.00
27	0.33	0.22		0.12	0.05	0.67	3.2		8.4	0.91
28		0.32	0.21	0.14	0.13	0.67		0.13	6.3	1.00
29		0.41			0.09	0.41			15.9	0.95
30	0.13				0.04	0.13			61.5	0.96
31	0.33	0.62	0.15		0.02	1.10			3.7	1.00
32		0.32			0.04	0.32	2.9		19.7	1.00
33	0.18	0.27			0.05	0.45			8.2	1.00
34	0.12	0.18			0.01	0.30		0.11	19.7	1.00
35	0.31	0.31			0.05	0.62			12.6	0.92
36		0.21	0.12	0.18	0.01	0.51			12.4	1.00
37	0.13				0.02	0.13			35.4	1.00
38		0.21	0.25		0.04	0.46			12.6	0.93
39	0.29	0.81			0.08	1.10			3.8	1.00
40		0.22	0.03		0.16	0.25	1.8		20.8	1.00
41	0.06	0.09			0.12	0.15			34.7	1.00
42		0.24	0.24		0.08	0.48			11.0	1.00
43	0.24	0.72			0.06	0.96			4.8	1.00
44		0.23			0.04	0.23	1.5		19.1	1.00
45	0.22	0.21			0.07	0.43			9.8	1.00
46		0.25			0.08	0.25	2.5		16.4	1.00
47		0.35			0.04	0.35			12.3	1.00

[0098]

[表2-3]

ワイヤ 番号	区分	備考	フラックス組成[ワイヤの全質量に対する質量%]				
			金属弗化物				
			CaF ₂	BaF ₂	SrF ₂	MgF ₂	合計量 α
101	比較例		4.2				4.2
102	比較例		4.2				4.2
103	比較例		3.9				3.9
104	比較例		5.7				5.7
105	比較例		3.8				3.8
106	比較例		5.1				5.1
107	比較例		4.5				4.5
108	比較例		4.1				4.1
109	比較例		4.2				4.2
110	比較例		4.1				4.1
111	比較例		4.7				4.7
112	比較例		4.1				4.1
113	比較例		5.5				5.5
114	比較例		4.7				4.7
115	比較例		5.2				5.2
116	比較例		4.5				4.5
117	比較例		4.7				4.7
118	比較例		3.8				3.8
119	比較例		5.4				5.4
120	比較例		5.3				5.3
121	比較例		5.5				5.5
122	比較例		4.5				4.5
123	比較例		3.3				3.3
124	比較例		2.2				<u>2.2</u>
125	比較例		8.9				<u>8.9</u>
126	比較例		7.5				7.5
127	比較例		3.8				3.8
128	比較例		4.1				4.1
129	比較例		4.2				4.2
130	比較例		4.4				4.4
131	比較例		4.2				4.2
132	比較例		3.4	0.2	0.3	0.3	4.2

[0099] [表2-4]

ワイヤ 番号	フラックス組成[ワイヤの全質量に対する質量%]							[合計量 α]/ [合計量 β]	[CaF ₂]/ [合計量 α]	
	金属酸化物						鉄粉			金属 炭酸 塩
	TiO ₂	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	合計量 β				
101	0.12	0.35			0.03	0.47			8.9	1.00
102	0.17	0.21			0.06	0.38			11.1	1.00
103	0.15	0.19			0.09	0.34			11.5	1.00
104	0.18	0.32			0.01	0.50			11.4	1.00
105	0.13	0.24			0.13	0.37			10.3	1.00
106	0.11	0.41			0.12	0.52			9.8	1.00
107	0.10	0.34			0.15	0.44			10.2	1.00
108	0.16	0.24			0.04	0.40			10.3	1.00
109	0.09	0.25			0.02	0.34			12.4	1.00
110	0.14	0.25			0.04	0.39			10.5	1.00
111	0.12	0.22			0.03	0.34			13.8	1.00
112	0.08	0.32			0.05	0.40			10.3	1.00
113	0.14	0.21			0.02	0.35			15.7	1.00
114	0.15	0.15			0.04	0.30			15.7	1.00
115	0.15	0.12			0.06	0.27			19.3	1.00
116	0.09	0.29			0.05	0.38			11.8	1.00
117	0.12	0.15			0.06	0.27			17.4	1.00
118	0.09	0.19			0.02	0.28			13.6	1.00
119	0.15	0.21			0.12	0.36			15.0	1.00
120	0.11	0.15			0.01	0.26			20.4	1.00
121	0.12	0.15			0.01	0.27			20.4	1.00
122	0.12	0.27			0.13	0.39			11.5	1.00
123	0.35	1.22			0.15	1.57			2.1	1.00
124	0.12	0.27			0.12	0.39			5.6	1.00
125		0.12			0.06	0.12			74.2	1.00
126	0.02	0.05			0.04	0.07			107.1	1.00
127		0.07			0.03	0.07			54.3	1.00
128	0.08	0.33			0.02	0.41			10.0	1.00
129	0.16	0.27			0.34	0.43			9.8	1.00
130		0.25			0.04	0.25		0.8	17.6	1.00
131	0.12	0.19			0.07	0.31	11.1		13.5	1.00
132	0.16	0.18			0.05	0.34			12.4	0.81

[0100]

[表3-1]

ワイヤ 番号	区分	ワイヤの合金の化学成分 [ワイヤの全質量に対する質量%] (注1)							
		合金成分または金属脱酸成分							
		C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V
1	実施例	0.082	0.27	1.56	0.011	0.004	0.012		
2	実施例	0.242	0.39	0.54	0.010	0.006	0.007		
3	実施例	0.112	0.54	1.73	0.012	0.005	0.011		
4	実施例	0.131	0.48	2.22	0.010	0.003	0.012		
5	実施例	0.145	0.34	1.25	0.008	0.003	0.024	0.97	
6	実施例	0.123	0.38	1.24	0.008	0.005	0.005		0.27
7	実施例	0.105	0.24	1.15	0.008	0.004	0.008		
8	実施例	0.137	0.41	1.37	0.014	0.006	0.006		
9	実施例	0.091	0.09	1.84	0.016	0.005	0.010		0.15
10	実施例	0.241	0.12	1.24	0.015	0.005	0.006		
11	実施例	0.121	0.34	0.95	0.014	0.007	0.005		
12	実施例	0.094	0.41	1.34	0.012	0.006	0.023	0.87	
13	実施例	0.115	0.52	1.25	0.009	0.007	0.121		
14	実施例	0.185	0.55	1.08	0.015	0.012	0.014		
15	実施例	0.084	0.56	1.22	0.008	0.007	0.015		
16	実施例	0.125	0.51	1.54	0.013	0.006	0.032		
17	実施例	0.156	0.72	1.34	0.011	0.004	0.012		
18	実施例	0.284	0.34	1.25	0.013	0.005	0.012		0.22
19	実施例	0.164	0.43	2.11	0.007	0.004	0.062		
20	実施例	0.125	0.39	1.51	0.016	0.008	0.045	0.89	
21	実施例	0.166	0.09	1.98	0.013	0.007	0.025		
22	実施例	0.139	0.18	1.55	0.015	0.005	0.015		
23	実施例	0.129	0.34	1.52	0.011	0.003	0.008		
24	実施例	0.141	0.28	0.84	0.009	0.005	0.008		0.18
25	実施例	0.125	0.52	1.34	0.011	0.004	0.012		
26	実施例	0.139	0.32	1.25	0.013	0.005	0.012		
27	実施例	0.262	0.41	1.02	0.007	0.004	0.062	0.07	
28	実施例	0.165	0.28	1.51	0.016	0.008	0.052	0.70	
29	実施例	0.134	0.41	1.98	0.015	0.007	0.026		
30	実施例	0.150	0.38	1.55	0.015	0.004	0.016		
31	実施例	0.121	0.12	1.78	0.011	0.004	0.009		0.31
32	実施例	0.145	0.18	1.84	0.017	0.003	0.015		
33	実施例	0.146	0.71	1.37	0.012	0.004	0.012		
34	実施例	0.134	0.33	1.32	0.013	0.005	0.013		
35	実施例	0.098	0.41	2.01	0.009	0.004	0.062		
36	実施例	0.158	0.39	1.51	0.016	0.008	0.044	0.92	
37	実施例	0.245	0.12	1.98	0.014	0.003	0.025		
38	実施例	0.155	0.19	1.55	0.014	0.005	0.015		
39	実施例	0.099	0.27	1.52	0.018	0.003	0.012		0.44
40	実施例	0.138	0.24	1.78	0.016	0.004	0.008		
41	実施例	0.215	0.15	1.35	0.018	0.004	0.012		
42	実施例	0.164	0.18	1.45	0.015	0.003	0.017		
43	実施例	0.125	0.24	1.35	0.012	0.003	0.021		
44	実施例	0.133	0.22	1.41	0.013	0.005	0.024		
45	実施例	0.079	0.24	1.84	0.013	0.004	0.015		
46	実施例	0.081	0.22	1.78	0.011	0.005	0.022		
47	実施例	0.077	0.34	1.75	0.009	0.003	0.032		

注1 残部:Feおよび不純物

[0101]

[表3-2]

ワイヤ 番号	ワイヤの合金の化学成分 [ワイヤの全質量に対する質量%] (注1)								
	合金成分または金属脱酸成分								
	Cu	Cr	Mo	Ti	Nb	B	Mg	Ca	REM
1	0.18	0.32	0.19	0.015	0.01				
2	0.27		0.21	0.012		0.0007			
3	0.45		0.44			0.0029	0.2		
4									
5	0.27	1.12		0.014		0.0033		0.4	
6	0.28		0.33	0.011			0.2		
7	0.32	0.39	0.25			0.0043			
8			0.25						0.0018
9	0.25	0.45	0.12						
10	0.21		0.21	0.024	0.02	0.0025			
11	0.22		0.43	0.025		0.0024	0.2		
12	0.56	0.32	0.25	0.023				0.4	
13	0.31			0.020			0.5		
14	0.22		0.74	0.015		0.0047			
15	0.32	0.75	0.25						0.0054
16			0.23	0.022					
17	0.25	1.12	0.12	0.054	0.02	0.0040			
18	0.24		0.18						
19									
20	0.54	0.44			0.02			0.5	
21	0.38	0.48	0.35			0.0021			
22	0.22		0.11	0.011		0.0022	0.7		
23	0.25	0.57	0.17	0.085			0.6		
24	0.36		0.27	0.072			0.5		
25	0.27	1.12	0.20						
26	0.34		0.29		0.03	0.0032			
27	0.65								
28		0.42	0.32	0.022		0.0015			0.0023
29	0.26	0.48					0.3		
30	0.22		0.31		0.03	0.0032			
31	0.24		0.39						
32	0.21		0.31	0.018		0.0041		0.3	
33	0.35	0.51	0.25						
34	0.19			0.012		0.0032		0.2	
35	0.22			0.011	0.03	0.0033			
36	0.56		0.21						
37	0.17	0.48		0.024		0.0032	0.4		
38	0.21		0.45	0.015		0.0021			0.0032
39	0.18	0.52	0.25						
40	0.31		0.37	0.018		0.0029		0.2	
41									
42	0.32			0.013		0.0030			
43	0.24	0.52	0.21						
44	0.33								
45	0.22								
46	0.31								
47	0.29								

注1 残部:Feおよび不純物

[0102] [表3-3]

ワイヤ 番号	区分	ワイヤの合金の化学成分 [ワイヤの全質量に対する質量%] (注1)							
		合金成分または金属脱酸成分							
		C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V
101	比較例	0.361	0.25	1.56	0.008	0.005	0.025		
102	比較例	0.051	0.38	1.62	0.011	0.005	0.021		
103	比較例	0.128	0.04	1.52	0.014	0.007	0.024		
104	比較例	0.174	1.97	1.54	0.009	0.006	0.024		
105	比較例	0.087	0.35	0.18	0.015	0.008	0.023		
106	比較例	0.121	0.41	4.65	0.008	0.004	0.012		
107	比較例	0.124	0.34	1.51	0.072	0.003	0.013		
108	比較例	0.135	0.33	1.55	0.008	0.035	0.025		
109	比較例	0.131	0.35	1.48	0.013	0.005	0.004		
110	比較例	0.131	0.33	1.47	0.012	0.008	0.161		
111	比較例	0.126	0.45	1.67	0.012	0.005	0.012		0.58
112	比較例	0.134	0.35	1.52	0.011	0.006	0.013		
113	比較例	0.090	0.38	1.43	0.009	0.003	0.015		
114	比較例	0.154	0.42	1.46	0.008	0.005	0.016		
115	比較例	0.111	0.33	1.51	0.009	0.004	0.019		
116	比較例	0.098	0.38	1.55	0.012	0.005	0.011		
117	比較例	0.125	0.37	1.42	0.012	0.005	0.012		
118	比較例	0.128	0.32	1.41	0.013	0.007	0.021		
119	比較例	0.134	0.38	1.37	0.011	0.006	0.015		
120	比較例	0.121	0.41	1.41	0.012	0.006	0.010		
121	比較例	0.115	0.32	1.44	0.011	0.006	0.010		
122	比較例	0.214	0.52	1.35	0.009	0.007	0.121		
123	比較例	0.195	0.51	1.57	0.015	0.012	0.014		
124	比較例	0.182	0.53	1.59	0.008	0.007	0.015		
125	比較例	0.132	0.55	1.61	0.012	0.005	0.018		
126	比較例	0.146	0.57	1.63	0.009	0.007	0.017		
127	比較例	0.138	0.49	1.56	0.008	0.006	0.016		
128	比較例	0.104	0.44	1.52	0.007	0.005	0.017		
129	比較例	0.127	0.34	1.54	0.012	0.006	0.015		
130	比較例	0.122	0.33	1.46	0.001	0.007	0.015		
131	比較例	0.115	0.32	1.54	0.012	0.005	0.016		
132	比較例	0.121	0.34	1.52	0.001	0.005	0.015		

注1 残部:Feおよび不純物

[0103]

[表3-4]

ワイヤ 番号	ワイヤの合金の化学成分 [ワイヤの全質量に対する質量%] (注1)								
	合金成分または金属脱酸成分								
	Cu	Cr	Mo	Ti	Nb	B	Mg	Ca	REM
101	0.21								
102	0.16								
103	0.17								
104	0.28								
105	0.21								
106	0.16								
107	0.17								
108	0.20								
109	0.16								
110	0.18								
111	0.30								
112	<u>0.81</u>								
113	0.21	<u>3.71</u>							
114	0.25		<u>1.65</u>						
115	0.21			<u>0.270</u>					
116	0.20				<u>0.18</u>				
117	0.16					<u>0.07</u>			
118	0.19								
119	0.16						<u>2.4</u>		
120	0.24							<u>2.3</u>	
121	0.19								<u>0.18</u>
122	0.16	1.20	0.38						
123	0.19		0.38						
124	0.16	0.75	0.25						
125	0.18								
126	0.14								
127	0.03								
128	0.18								
129	0.17								
130	0.18								
131	0.19								
132	0.17								

注1 残部:Feおよび不純物

[表4-1]

区分 番号	ワイヤ 番号	母材 番号	溶接条件								
			電流 [A]	電圧 [V]	溶接速度 [cm/min]	入熱 [kJ/cm]	予熱 温度 [°C]	鋼板の 温度 [°C]	パス間 温度 [°C]	シールド ガス	ガス 流量 [L/min]
実施例1	1	1	280	30	30	16.8	なし	12	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例2	2	1	280	30	30	16.8	なし	14	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例3	3	1	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例4	4	1	280	30	30	16.8	なし	12	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例5	5	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例6	6	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例7	7	1	280	30	30	16.8	なし	14	150以下	100%CO ₂	25
実施例8	8	1	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	100%CO ₂	25
実施例9	9	2	280	30	30	16.8	なし	15	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例10	10	2	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例11	11	2	280	30	30	16.8	なし	15	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例12	12	2	280	30	30	16.8	なし	12	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例13	13	2	280	30	30	16.8	なし	11	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例14	14	2	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例15	15	2	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	100%CO ₂	25
実施例16	16	2	280	30	30	16.8	なし	24	150以下	100%CO ₂	25
実施例17	17	3	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例18	18	3	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例19	19	3	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例20	20	3	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例21	21	3	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例22	22	3	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例23	23	3	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	100%CO ₂	25
実施例24	24	3	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	100%CO ₂	25
実施例25	25	4	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例26	26	4	280	30	30	16.8	なし	22	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例27	27	4	280	30	30	16.8	なし	25	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例28	28	4	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例29	29	4	280	30	30	16.8	なし	16	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例30	30	4	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例31	31	4	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	100%CO ₂	25
実施例32	32	4	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	100%CO ₂	25
実施例33	33	5	280	30	30	16.8	なし	22	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例34	34	5	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例35	35	5	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例36	36	5	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例37	37	5	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例38	38	5	280	30	30	16.8	なし	23	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例39	39	5	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	100%CO ₂	25
実施例40	40	5	280	30	30	16.8	なし	24	150以下	100%CO ₂	25
実施例41	41	6	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例42	42	6	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例43	43	6	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例44	44	6	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例45	45	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例46	46	8	280	30	30	16.8	150	150	175以下	Ar-20%CO ₂	25
実施例47	47	9	280	30	30	16.8	なし	22	150以下	Ar-20%CO ₂	25

[表4-2]

区分 番号	ワイヤ 番号	母材 番号	溶接条件								
			電流 [A]	電圧 [V]	溶接速度 [cm/min]	入熱 [kJ/cm]	予熱温度 [°C]	鋼板の温度 [°C]	パス間温度 [°C]	シールド ガス	ガス流量 [L/min]
比較例101	101	1	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例102	102	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例103	103	1	280	30	30	16.8	なし	15	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例104	104	1	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例105	105	1	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例106	106	1	280	30	30	16.8	なし	23	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例107	107	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例108	108	1	280	30	30	16.8	なし	15	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例109	109	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例110	110	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例111	111	1	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例112	112	1	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例113	113	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例114	114	1	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例115	115	1	280	30	30	16.8	なし	16	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例116	116	1	280	30	30	16.8	なし	24	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例117	117	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例118	118	1	280	30	30	16.8	なし	23	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例119	119	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例120	120	1	280	30	30	16.8	なし	16	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例121	121	1	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例122	122	1	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例123	123	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例124	124	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例125	125	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例126	126	1	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例127	127	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例128	128	1	280	30	30	16.8	なし	17	150以下	Ar-20%CO ₂	10
比較例129	129	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例130	130	1	280	30	30	16.8	なし	21	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例131	131	1	280	30	30	16.8	なし	18	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例132	132	1	280	30	30	16.8	なし	19	150以下	Ar-20%CO ₂	25
比較例133	101	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25

[0106]

[表4-3]

区分 番号	ワイヤ 番号	母材 番号	溶接条件							ガス間温度 [°C]	シールド ガス	ガス流量 [L/min]
			電流 [A]	電圧 [V]	溶接速度 [cm/min]	入熱 [kJ/cm]	予熱温度 [°C]	鋼板の温度 [°C]				
比較例134	102	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例135	103	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例136	104	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例137	105	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例138	106	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例139	107	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例140	108	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例141	109	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例142	110	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例143	111	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例144	112	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例145	113	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例146	114	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例147	115	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例148	116	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例149	117	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例150	118	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例151	119	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例152	120	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例153	121	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例154	122	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例155	123	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例156	124	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例157	125	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例158	126	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例159	127	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例160	128	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例161	129	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例162	130	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例163	131	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例164	132	7	280	30	30	16.8	100	100	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例165	45	7	280	30	30	16.8	なし	20	150以下	Ar-20%CO ₂	25	
比較例166	46	8	280	30	30	16.8	50	50	175以下	Ar-20%CO ₂	25	

[0107]

[表5-1]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注1)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V	Cu	Cr
実施例1	0.120	0.35	1.04	0.009	0.004	0.03			0.12	0.38
実施例2	0.227	0.23	0.53	0.008	0.005	0.01			0.17	0.15
実施例3	0.137	0.37	1.12	0.010	0.004	0.03			0.29	0.16
実施例4	0.149	0.37	1.56	0.008	0.003	0.06				0.14
実施例5	0.161	0.26	0.88	0.007	0.003	0.04	0.56		0.18	0.89
実施例6	0.145	0.39	0.88	0.007	0.004	0.03		0.17	0.18	0.17
実施例7	0.136	0.43	0.83	0.007	0.004	0.01			0.21	0.42
実施例8	0.154	0.35	0.94	0.011	0.005	0.03				0.16
実施例9	0.138	0.24	1.20	0.013	0.005	0.03		0.09	0.15	0.43
実施例10	0.234	0.19	0.89	0.013	0.005	0.04			0.14	0.12
実施例11	0.150	0.33	0.74	0.012	0.006	0.03			0.15	0.14
実施例12	0.138	0.36	0.94	0.011	0.005	0.07	0.55		0.35	0.35
実施例13	0.147	0.40	0.90	0.009	0.006	0.07			0.22	0.11
実施例14	0.192	0.33	0.81	0.013	0.009	0.02			0.14	0.12
実施例15	0.138	0.54	0.88	0.008	0.006	0.05			0.19	0.63
実施例16	0.149	0.46	1.05	0.011	0.005	0.04				0.12
実施例17	0.137	0.52	0.98	0.011	0.004	0.02			0.15	0.87
実施例18	0.206	0.35	0.94	0.012	0.005	0.03		0.13	0.14	0.18
実施例19	0.147	0.37	1.34	0.008	0.004	0.03				0.20
実施例20	0.124	0.39	1.06	0.013	0.007	0.10	0.51		0.33	0.47
実施例21	0.149	0.23	1.28	0.012	0.006	0.02			0.25	0.48
実施例22	0.133	0.20	1.08	0.013	0.005	0.03			0.15	0.19
実施例23	0.128	0.40	1.07	0.011	0.004	0.01			0.16	0.53
実施例24	0.137	0.31	0.75	0.009	0.005	0.01		0.10	0.22	0.19
実施例25	0.131	0.40	0.90	0.009	0.004	0.02			0.19	0.97
実施例26	0.129	0.28	0.85	0.010	0.005	0.03			0.21	0.23
実施例27	0.224	0.32	0.73	0.007	0.004	0.07	0.04		0.41	0.21
実施例28	0.153	0.29	0.99	0.012	0.008	0.08	0.45			0.49
実施例29	0.134	0.38	1.23	0.012	0.006	0.02			0.16	0.56
実施例30	0.145	0.23	1.01	0.013	0.004	0.02			0.14	0.20
実施例31	0.120	0.31	1.13	0.009	0.004	0.04		0.20	0.15	0.23
実施例32	0.138	0.24	1.16	0.013	0.003	0.02			0.16	0.21
実施例33	0.156	0.46	0.84	0.011	0.003	0.03	0.14	0.02	0.22	0.47
実施例34	0.152	0.26	0.81	0.012	0.004	0.02	0.16	0.03	0.12	0.14
実施例35	0.127	0.34	1.16	0.009	0.003	0.04	0.15	0.02	0.12	0.15
実施例36	0.168	0.30	0.91	0.013	0.008	0.10	0.61	0.02	0.39	0.13
実施例37	0.222	0.11	1.14	0.012	0.003	0.02	0.14	0.03	0.11	0.45
実施例38	0.164	0.21	0.93	0.012	0.004	0.02	0.16	0.03	0.13	0.15
実施例39	0.123	0.44	0.91	0.015	0.003	0.02	0.15	0.29	0.10	0.46
実施例40	0.155	0.24	1.04	0.013	0.003	0.02	0.14	0.04	0.17	0.13
実施例41	0.189	0.16	1.09	0.015	0.004	0.01				
実施例42	0.154	0.22	1.14	0.013	0.003	0.01			0.15	
実施例43	0.134	0.41	1.09	0.011	0.003	0.01			0.14	0.36
実施例44	0.137	0.24	1.12	0.011	0.004	0.02			0.19	
実施例45	0.149	0.22	1.01	0.011	0.004	0.01			0.14	0.11
実施例46	0.152	0.23	0.97	0.010	0.005	0.01			0.19	0.13
実施例47	0.158	0.33	0.98	0.009	0.003	0.02			0.19	0.12

注1 残部:Feおよび不純物

[0108] [表5-2]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注1)									
	Mo	Ti	Nb	B	N	Mg	Ca	REM	O	CEN
実施例1	0.13	0.020	0.009	0.0004	0.005				0.022	0.35
実施例2	0.12	0.019	0.004	0.0007	0.006				0.031	0.39
実施例3	0.30	0.026	0.005	0.0018	0.005	0.011			0.033	0.41
実施例4		0.003	0.003	0.0004	0.007				0.027	0.42
実施例5		0.029	0.006	0.0021	0.009		0.009		0.029	0.52
実施例6	0.22	0.004	0.004	0.0004	0.012	0.019			0.037	0.40
実施例7	0.17	0.023	0.003	0.0026	0.005				0.032	0.39
実施例8	0.16	0.001	0.004	0.0006	0.008			0.0012	0.029	0.37
実施例9	0.16	0.029	0.005	0.0003	0.005				0.033	0.44
実施例10	0.22	0.008	0.018	0.0016	0.004				0.034	0.48
実施例11	0.37	0.033	0.006	0.0015	0.005	0.017			0.030	0.38
実施例12	0.24	0.006	0.004	0.0005	0.006	0.007	0.009		0.030	0.43
実施例13	0.07	0.005	0.005		0.006	0.034			0.027	0.34
実施例14	0.58	0.007	0.007	0.0027	0.005				0.029	0.50
実施例15	0.25	0.037	0.005	0.0003	0.007			0.0021	0.036	0.44
実施例16	0.23	0.011	0.006	0.0004	0.008				0.031	0.38
実施例17	0.19	0.051	0.012	0.0023	0.007				0.032	0.49
実施例18	0.23	0.013		0.0004	0.009				0.032	0.49
実施例19	0.12	0.027		0.0006	0.004				0.034	0.41
実施例20	0.11	0.003	0.012	0.0004	0.005		0.012		0.028	0.40
実施例21	0.33	0.002		0.0014	0.005				0.030	0.51
実施例22	0.18	0.019		0.0012	0.006	0.023			0.029	0.36
実施例23	0.22	0.069		0.0004	0.007	0.018			0.027	0.41
実施例24	0.27	0.017		0.0005	0.005	0.021			0.028	0.36
実施例25	0.14	0.036			0.004				0.033	0.45
実施例26	0.20	0.002	0.019	0.0019	0.006				0.031	0.34
実施例27		0.033			0.005	0.012			0.030	0.43
実施例28	0.24	0.007		0.0010	0.009	0.007		0.0014	0.032	0.47
実施例29		0.002			0.004	0.015			0.028	0.41
実施例30	0.22		0.019	0.0019	0.008				0.031	0.39
実施例31	0.29	0.034			0.006	0.008			0.025	0.39
実施例32	0.21	0.006		0.0024	0.007		0.015		0.024	0.40
実施例33	0.17	0.020	0.006		0.007				0.031	0.44
実施例34		0.017	0.007	0.0020	0.006				0.029	0.34
実施例35		0.036	0.024	0.0018	0.007	0.018			0.033	0.34
実施例36	0.14	0.003	0.008		0.004	0.007			0.037	0.43
実施例37		0.021	0.007	0.0019	0.007	0.029			0.035	0.54
実施例38	0.30	0.007	0.006	0.0014	0.004	0.014		0.0014	0.032	0.43
実施例39	0.17	0.029	0.008		0.005				0.038	0.41
実施例40	0.25	0.006	0.006	0.0018	0.008	0.003			0.031	0.42
実施例41					0.006				0.024	0.37
実施例42		0.003		0.0016	0.004	0.018			0.035	0.35
実施例43	0.14				0.006				0.031	0.39
実施例44					0.007				0.028	0.31
実施例45		0.007		0.0005	0.006				0.032	0.34
実施例46		0.005		0.0006	0.005				0.031	0.34
実施例47		0.007		0.0007	0.005				0.024	0.36

注1 残部:Feおよび不純物

[0109]

[表5-3]

区分 番号	ビッカース 硬さHV	-40℃シャルピー 吸収エネルギー [J]	拡散性 水素 [ml/100g]	溶接 作業性	JIS Z 3158 割れ試験
実施例1	385	72	0.7	良好	割れなし
実施例2	500	32	0.3	良好	割れなし
実施例3	406	52	0.6	良好	割れなし
実施例4	418	61	0.8	良好	割れなし
実施例5	437	44	0.5	良好	割れなし
実施例6	411	52	0.3	良好	割れなし
実施例7	403	58	0.4	良好	割れなし
実施例8	421	64	0.9	良好	割れなし
実施例9	409	81	0.5	良好	割れなし
実施例10	504	64	0.4	良好	割れなし
実施例11	418	62	0.7	良好	割れなし
実施例12	407	60	0.5	良好	割れなし
実施例13	410	55	0.4	良好	割れなし
実施例14	472	31	0.5	良好	割れなし
実施例15	411	49	0.7	良好	割れなし
実施例16	417	50	0.3	良好	割れなし
実施例17	414	59	0.4	良好	割れなし
実施例18	483	42	0.6	良好	割れなし
実施例19	417	69	0.7	良好	割れなし
実施例20	391	85	0.3	良好	割れなし
実施例21	428	63	0.8	良好	割れなし
実施例22	399	88	0.4	良好	割れなし
実施例23	399	81	0.5	良好	割れなし
実施例24	402	72	0.5	良好	割れなし
実施例25	406	65	0.7	良好	割れなし
実施例26	393	49	0.6	良好	割れなし
実施例27	497	55	0.6	良好	割れなし
実施例28	427	61	0.9	良好	割れなし
実施例29	404	58	0.4	良好	割れなし
実施例30	413	75	0.3	良好	割れなし
実施例31	387	62	0.4	良好	割れなし
実施例32	407	50	0.6	良好	割れなし
実施例33	427	49	0.4	良好	割れなし
実施例34	413	55	0.7	良好	割れなし
実施例35	388	67	0.3	良好	割れなし
実施例36	436	75	0.4	良好	割れなし
実施例37	503	50	0.7	良好	割れなし
実施例38	435	61	0.3	良好	割れなし
実施例39	390	45	0.4	良好	割れなし
実施例40	425	62	0.7	良好	割れなし
実施例41	456	49	0.6	良好	割れなし
実施例42	418	62	0.4	良好	割れなし
実施例43	401	55	0.3	良好	割れなし
実施例44	399	63	0.5	良好	割れなし
実施例45	450	47	0.5	良好	割れなし
実施例46	444	42	0.6	良好	割れなし
実施例47	459	50	0.6	良好	割れなし

[0110] [表5-4]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注 1)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V	Cu	Cr
比較例101	0.281	0.27	1.04	0.007	0.004	0.03			0.13	0.15
比較例102	0.109	0.30	1.07	0.009	0.004	0.02			0.11	0.13
比較例103	0.151	0.02	0.78	0.007	0.003	0.05			0.15	0.12
比較例104	0.178	0.91	1.03	0.008	0.005	0.08			0.17	0.17
比較例105	0.127	0.25	0.09	0.006	0.004	0.04			0.17	0.11
比較例106	0.152	0.37	2.58	0.007	0.004	0.02			0.11	0.18
比較例107	0.145	0.32	1.01	0.052	0.003	0.02			0.10	0.11
比較例108	0.153	0.28	1.03	0.007	0.023	0.03			0.12	0.12
比較例109	0.145	0.24	0.98	0.003	0.003	0.0005			0.15	0.12
比較例110	0.146	0.24	0.89	0.004	0.005	0.14			0.16	0.13
比較例111	0.146	0.33	1.09	0.010	0.004	0.02		0.36	0.16	0.15
比較例112	0.151	0.32	1.02	0.009	0.005	0.02			0.59	0.11
比較例113	0.122	0.30	0.97	0.008	0.003	0.03			0.12	2.58
比較例114	0.163	0.29	0.99	0.007	0.004	0.02			0.13	0.16
比較例115	0.134	0.24	1.01	0.003	0.004	0.02			0.13	0.14
比較例116	0.137	0.32	1.03	0.010	0.004	0.03			0.14	0.15
比較例117	0.145	0.27	0.97	0.010	0.004	0.04			0.10	0.93
比較例118	0.147	0.23	0.98	0.005	0.003	0.03			0.16	0.24
比較例119	0.155	0.30	0.94	0.009	0.005	0.02			0.11	0.65
比較例120	0.147	0.29	0.96	0.010	0.005	0.03			0.13	0.21
比較例121	0.141	0.25	0.98	0.009	0.005	0.02			0.12	0.14
比較例122	0.199	0.34	0.99	0.008	0.005	0.05			0.10	0.93
比較例123	0.184	0.37	1.04	0.012	0.009	0.02			0.12	0.15
比較例124	0.175	0.58	1.02	0.007	0.005	0.02			0.11	0.65
比較例125	0.151	0.37	1.07	0.005	0.002	0.03			0.10	0.15
比較例126	0.159	0.34	1.07	0.007	0.003	0.02			0.09	0.14
比較例127	0.154	0.29	1.05	0.006	0.004	0.02			0.01	0.13
比較例128	0.154	0.26	1.03	0.006	0.003	0.02			0.11	0.16
比較例129	0.148	0.22	1.02	0.005	0.002	0.03			0.15	0.13
比較例130	0.137	0.24	1.04	0.005	0.003	0.04			0.14	0.10
比較例131	0.138	0.22	1.01	0.004	0.003	0.03			0.17	0.17
比較例132	0.134	0.23	1.05	0.005	0.003	0.04			0.18	0.12
比較例133	0.305	0.16	0.94	0.008	0.004	0.02			0.14	0.09

注1 残部:Feおよび不純物

[0111]

[表5-5]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注1)									
	Mo	Ti	Nb	B	N	Mg	Ca	REM	O	CEN
比較例101		0.013			0.005				0.022	0.50
比較例102		0.018			0.004				0.032	0.26
比較例103		0.020			0.004				0.021	0.30
比較例104		0.019			0.005				0.019	0.42
比較例105		<u>0.190</u>			0.005				0.027	<u>0.17</u>
比較例106		0.012			0.003				0.028	<u>0.59</u>
比較例107		0.011			0.004				0.025	0.33
比較例108		0.017			0.005				0.029	0.35
比較例109		0.018			0.004				0.032	0.32
比較例110		0.020			0.003				0.026	0.32
比較例111		0.013			0.005				0.028	0.41
比較例112		0.009			0.003				0.033	0.37
比較例113		0.030			0.005				0.031	<u>0.65</u>
比較例114	<u>1.11</u>	0.016			0.004				0.034	0.57
比較例115		<u>0.110</u>			0.004				0.030	0.31
比較例116		0.020	<u>0.114</u>		0.006				0.028	0.34
比較例117		0.013		<u>0.036</u>	0.005				0.028	<u>0.62</u>
比較例118		0.018			<u>0.024</u>				0.022	0.35
比較例119		0.073			0.006	<u>0.190</u>			0.030	0.43
比較例120		0.014			0.004		<u>0.180</u>		0.029	0.34
比較例121		0.015			0.003			<u>0.021</u>	0.032	0.32
比較例122	0.26	0.013			0.005				0.031	<u>0.61</u>
比較例123	0.24	0.014			0.004				0.032	0.45
比較例124	0.16	0.015			0.006				0.029	0.52
比較例125		0.006			0.005				0.030	0.36
比較例126		0.008			0.005				0.037	0.37
比較例127		0.005			0.004				0.027	0.35
比較例128		0.008			0.006				<u>0.110</u>	0.35
比較例129		0.018			0.004				<u>0.121</u>	0.34
比較例130		0.007			0.006				<u>0.114</u>	0.31
比較例131		0.013			0.005				<u>0.108</u>	0.32
比較例132		0.015			0.006				0.038	0.31
比較例133		0.012			0.007				0.031	0.49

注1 残部:Feおよび不純物

[0112]

[表5-6]

区分 番号	ビッカース 硬さHV	-40℃シャルピー 吸収エネルギー [J]	拡散性 水素 [ml/100g]	溶接 作業性	JIS Z 3158 割れ試験
比較例101	548	17	0.9	良好	割れあり
比較例102	352	65	0.5	良好	割れなし
比較例103	449	15	0.6	良好	割れなし
比較例104	424	19	0.7	良好	割れなし
比較例105	440	16	0.7	良好	割れなし
比較例106	406	17	0.8	良好	割れあり
比較例107	391	15	0.7	良好	割れなし
比較例108	399	18	0.8	良好	割れなし
比較例109	407	15	0.6	良好	割れなし
比較例110	395	19	0.7	良好	割れなし
比較例111	393	19	0.5	良好	割れなし
比較例112	397	20	0.8	良好	割れなし
比較例113	427	11	0.7	良好	割れあり
比較例114	441	12	0.7	良好	割れあり
比較例115	382	14	0.6	良好	割れなし
比較例116	381	14	0.6	良好	割れなし
比較例117	402	10	0.9	良好	割れあり
比較例118	428	20	0.8	良好	割れなし
比較例119	409	19	0.7	良好	割れなし
比較例120	393	15	0.6	良好	割れなし
比較例121	386	15	0.6	良好	割れなし
比較例122	467	29	0.9	良好	割れあり
比較例123	439	34	1.9	良好	割れあり
比較例124	435	35	1.8	良好	割れあり
比較例125	398	33	0.8	不良	割れなし
比較例126	407	36	0.9	不良	割れなし
比較例127	401	30	0.8	不良	割れなし
比較例128	405	9	0.9	不良	割れなし
比較例129	418	12	0.9	不良	割れなし
比較例130	428	15	0.9	不良	割れなし
比較例131	430	15	0.9	不良	割れなし
比較例132	425	30	1.5	不良	割れあり
比較例133	551	18	0.7	良好	割れあり

[表5-7]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注1)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	V	Cu	Cr
比較例134	0.115	0.22	0.97	0.009	0.003	0.03			0.10	0.04
比較例135	0.175	0.04	0.92	0.012	0.006	0.02			0.11	0.09
比較例136	0.205	0.98	0.93	0.008	0.003	0.02			0.18	0.07
比較例137	0.142	0.21	0.18	0.011	0.003	0.02			0.14	0.05
比較例138	0.171	0.23	2.54	0.008	0.004	0.03			0.10	0.09
比較例139	0.173	0.20	0.89	0.056	0.003	0.01			0.11	0.07
比較例140	0.180	0.20	0.92	0.008	0.027	0.02			0.13	0.09
比較例141	0.177	0.21	0.89	0.008	0.004	0.004			0.10	0.08
比較例142	0.177	0.20	0.89	0.011	0.004	0.11			0.12	0.09
比較例143	0.174	0.25	1.00	0.007	0.004	0.03		0.38	0.20	0.07
比較例144	0.179	0.21	0.92	0.005	0.003	0.02			0.55	0.09
比較例145	0.151	0.22	0.87	0.009	0.003	0.03			0.14	2.64
比較例146	0.192	0.24	0.88	0.006	0.004	0.01			0.16	0.10
比較例147	0.164	0.20	0.91	0.009	0.004	0.03			0.14	0.09
比較例148	0.156	0.22	0.93	0.007	0.004	0.01			0.13	0.07
比較例149	0.173	0.23	0.96	0.011	0.004	0.03			0.10	0.09
比較例150	0.175	0.19	0.86	0.008	0.006	0.01			0.12	0.10
比較例151	0.179	0.22	0.84	0.009	0.003	0.03			0.10	0.08
比較例152	0.171	0.23	0.87	0.005	0.005	0.01			0.16	0.09
比較例153	0.167	0.19	0.87	0.008	0.005	0.04			0.12	0.07
比較例154	0.231	0.29	0.83	0.007	0.006	0.06			0.10	0.91
比較例155	0.219	0.28	0.94	0.008	0.004	0.04			0.12	0.09
比較例156	0.210	0.29	0.97	0.007	0.006	0.01			0.10	0.60
比較例157	0.178	0.31	0.96	0.009	0.004	0.03			0.12	0.09
比較例158	0.187	0.31	0.97	0.008	0.006	0.02			0.09	0.11
比較例159	0.182	0.27	0.94	0.008	0.005	0.03			0.02	0.08
比較例160	0.160	0.25	0.94	0.006	0.004	0.02			0.12	0.10
比較例161	0.175	0.22	0.93	0.007	0.005	0.03			0.11	0.09
比較例162	0.172	0.20	0.86	0.003	0.002	0.02			0.12	0.08
比較例163	0.167	0.19	0.93	0.005	0.004	0.01			0.12	0.10
比較例164	0.171	0.20	0.92	0.004	0.004	0.01			0.11	0.09
比較例165	0.148	0.23	0.99	0.009	0.003	0.02			0.13	0.09
比較例166	0.153	0.24	0.99	0.008	0.005	0.02			0.15	0.11

注1 残部:Feおよび不純物

[0114]

[表5-8]

区分 番号	溶接金属の化学成分 [質量%] (注 1)									
	Mo	Ti	Nb	B	N	Mg	Ca	REM	O	CEN
比較例134		0.013			0.005				0.027	0.25
比較例135		0.014			0.004				0.033	0.35
比較例136		0.013			0.004				0.033	0.42
比較例137		0.015			0.005				0.026	0.19
比較例138		0.016			0.006				0.035	0.60
比較例139		0.012			0.004				0.027	0.34
比較例140		0.014			0.004				0.04	0.36
比較例141		0.012			0.006				0.038	0.35
比較例142		0.014			0.005				0.033	0.35
比較例143		0.009			0.007				0.027	0.44
比較例144		0.011			0.005				0.029	0.39
比較例145		0.010			0.003				0.028	0.76
比較例146	1.17	0.014			0.005				0.034	0.60
比較例147		0.111			0.004				0.035	0.34
比較例148		0.012	0.117		0.004				0.039	0.35
比較例149		0.014		0.022	0.005				0.034	0.46
比較例150		0.013			0.025				0.041	0.35
比較例151		0.011			0.006	0.18			0.035	0.34
比較例152		0.009			0.004		0.19		0.042	0.34
比較例153		0.012			0.003			0.016	0.037	0.33
比較例154	0.27	0.011			0.006				0.036	0.62
比較例155	0.27	0.010			0.005				0.041	0.46
比較例156	0.18	0.012			0.006				0.038	0.54
比較例157		0.011			0.004				0.033	0.37
比較例158		0.013			0.005				0.035	0.38
比較例159		0.005			0.006				0.033	0.36
比較例160		0.010			0.006				0.115	0.34
比較例161		0.005			0.004				0.109	0.35
比較例162		0.012			0.005				0.119	0.34
比較例163		0.011			0.004				0.118	0.35
比較例164		0.007			0.006				0.037	0.35
比較例165		0.008		0.0005	0.006				0.032	0.34
比較例166		0.010		0.0007	0.006				0.031	0.34

注1 残部:Feおよび不純物

[0115]

[表5-9]

区分 番号	ビッカース 硬さHV	-40℃シャルピー 吸収エネルギー [J]	拡散性 水素 [ml/100g]	溶接 作業性	JIS Z 3158 割れ試験
比較例134	342	57	0.6	良好	割れなし
比較例135	462	14	0.8	良好	割れなし
比較例136	430	17	0.7	良好	割れなし
比較例137	462	13	0.6	良好	割れなし
比較例138	419	12	0.7	良好	割れあり
比較例139	395	12	0.8	良好	割れなし
比較例140	412	15	0.7	良好	割れなし
比較例141	413	14	0.7	良好	割れなし
比較例142	404	12	0.7	良好	割れなし
比較例143	405	17	0.8	良好	割れなし
比較例144	400	22	0.7	良好	割れなし
比較例145	428	15	0.7	良好	割れあり
比較例146	434	12	0.8	良好	割れあり
比較例147	410	13	0.7	良好	割れなし
比較例148	403	14	0.7	良好	割れなし
比較例149	422	11	0.8	良好	割れあり
比較例150	426	19	0.6	良好	割れなし
比較例151	427	19	0.7	良好	割れなし
比較例152	412	16	0.6	良好	割れなし
比較例153	409	16	0.7	良好	割れなし
比較例154	462	31	0.9	良好	割れあり
比較例155	437	33	2.1	良好	割れあり
比較例156	450	37	2.0	良好	割れあり
比較例157	399	31	0.7	不良	割れなし
比較例158	412	40	0.7	不良	割れなし
比較例159	408	29	0.6	不良	割れなし
比較例160	415	10	0.8	不良	割れなし
比較例161	426	9	0.7	不良	割れなし
比較例162	439	14	0.8	不良	割れなし
比較例163	441	12	0.7	不良	割れなし
比較例164	436	30	1.9	不良	割れあり
比較例165	469	32	1.3	良好	割れあり
比較例166	464	28	1.4	良好	割れあり

産業上の利用可能性

[0116] 本発明によれば、C含有量が高く表面硬さがHV380以上、HV693以下であるような高硬度鋼板を母材とする溶接継手において、表面硬さがHV380以上、HV533以下であって耐摩耗性に優れる溶接金属を、予熱をしなくとも低温割れを発生させないで得ることができるので、溶接施工能率を著しく向上させることができ、産業界における価値はきわめて高い。

請求の範囲

[請求項1]

ビッカース硬さHVが380以上514以下であり、
板厚が20～100mmであり、
Cの含有量が0.12～0.30%であり、
下記の式1で計算されるCENが、0.20～0.75%である鋼板、

ビッカース硬さHVが514超565以下であり、
板厚が12～100mmであり、
Cの含有量が0.12～0.30%であり、
下記の式1で計算されるCENが、0.20～0.75%である鋼板、

ビッカース硬さHVが565超693以下であり、
板厚が6～12mmであり、
Cの含有量が0.35～0.45%であり、
下記の式1で計算されるCENが、0.20～0.85%である鋼板、

のいずれか一つに対し、鋼製外皮にフラックスが充填されたフラックス入りワイヤを用いて、ガスシールドアーク溶接を行うことにより、溶接継手を製造する方法であって、

(a) 前記ガスシールドアーク溶接時に、前記鋼板の温度が10℃以上の場合に予熱作業を行わず、

(b) 前記フラックス入りワイヤが、

CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を α としたとき、前記 α が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で3.3～8.0%であり、

Ti酸化物、Si酸化物、Mg酸化物、Al酸化物のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を β としたとき、前記 β が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.10～1.50

%であり、

CaCO_3 、 BaCO_3 、 SrCO_3 、 MgCO_3 の含有量の合計が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.60%未満であり、

前記フラックス中の鉄粉の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で10%未満であり、

前記 α に対する前記 CaF_2 の含有量の比が0.90以上であり、

前記 β に対する前記 α の比が3.0以上80.0以下であり、

CaO の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.20%未満であり、

金属弗化物、金属酸化物、および金属炭酸塩を除く、化学成分が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で：

C：0.06～0.35%；

Si：0.05～1.8%；

Mn：0.5～4.0%；

P：0.05%以下；

S：0.02%以下；

Al：0.005～0.15%；

Cu：0～0.75%；

Ni：0～1.0%未満；

Cr：0～3.5%；

Mo：0～1.5%；

Ti：0～0.15%；

Nb：0～0.15%；

V：0～0.45%；

B：0～0.050%；

Mg：0～2.0%；

Ca：0～2.0%；

REM : 0 ~ 0.0150 % ;

残部 : Fe および不純物 ;

からなり、

(c) 前記溶接継手の溶接金属の化学組成が、質量%で :

C : 0.12 ~ 0.25 % ;

Si : 0.05 ~ 0.80 % ;

Mn : 0.2 ~ 2.5 % ;

Al : 0.005 ~ 0.10 % ;

P : 0.05 % 以下 ;

S : 0.02 % 以下 ;

N : 0.015 % 以下 ;

Cu : 0 ~ 0.5 % ;

Ni : 0 ~ 0.7 % 未満 ;

Cr : 0 ~ 2.5 % ;

Mo : 0 ~ 1.0 % ;

Ti : 0 ~ 0.10 % ;

Nb : 0 ~ 0.10 % ;

V : 0 ~ 0.30 % ;

B : 0 ~ 0.0100 % ;

O : 0 ~ 0.100 % ;

Mg : 0 ~ 0.10 % ;

Ca : 0 ~ 0.10 % ;

REM : 0 ~ 0.0100 % ;

残部 : Fe および不純物 ;

からなり、

下記の式1で計算されるCENが、0.20 ~ 0.58 % であり、

前記溶接金属の最表層の表面下1 mmの平均ビッカース硬さHVが

、380 ~ 533 であり、

上記 (a) ~ (c) の全てを満足する
ことを特徴とする溶接継手の製造方法。

$$CEN = [C] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([C] - 0.12))) \times ([Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Cu] / 15 + [Ni] / 20 + ([Cr] + [Mo] + [Nb] + [V]) / 5 + 5 \times [B]) \quad \dots (式1)$$

ただし、[] 付元素は、それぞれの元素の含有量（質量％）を表す。
。

[請求項2]

ビッカース硬さHVが565超693以下であり、
板厚が12~20mmであり、
Cの含有量が0.35~0.45%であり、
下記の式2で計算されるCENが、0.20~0.85%である鋼板、

ビッカース硬さHVが565超693以下であり、
板厚が20mm超50mm以下であり、
Cの含有量が0.35~0.45%であり、
下記の式2で計算されるCENが、0.20~0.85%である鋼板、

のいずれか一つに対し、鋼製外皮にフラックスが充填されたフラックス入りワイヤを用いて、ガスシールドアーク溶接を行うことにより、溶接継手を製造する方法であって、

(a) 前記ガスシールドアーク溶接時に、前記鋼板の板厚が20mm以下の場合、前記鋼板を100℃以上に予熱を行い、前記鋼板の板厚が20mm超の場合、前記鋼板を150℃以上の予熱を行い、

(b) 前記フラックス入りワイヤが、

CaF_2 、 BaF_2 、 SrF_2 、 MgF_2 のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を α としたとき、前記 α が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量％で3.3~8.0%であり、

Ti 酸化物、Si 酸化物、Mg 酸化物、Al 酸化物のうちの少なくとも1種を含有し、その含有量の合計を β としたとき、前記 β が前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.10~1.50%であり、

CaCO_3 、 BaCO_3 、 SrCO_3 、 MgCO_3 の含有量の合計が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.60%未満であり、

前記フラックス中の鉄粉の含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で10%未満であり、

前記 α に対する前記 CaF_2 の含有量の比が0.90以上であり、

前記 β に対する前記 α の比が3.0以上80.0以下であり、

CaOの含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.20%未満であり、

金属弗化物、金属酸化物、および金属炭酸塩を除く、化学成分が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で：

C：0.06~0.35%；

Si：0.05~1.8%；

Mn：0.5~4.0%；

P：0.05%以下；

S：0.02%以下；

Al：0.005~0.15%；

Cu：0~0.75%；

Ni：0~1.0%未満；

Cr：0~3.5%；

Mo：0~1.5%；

Ti：0~0.15%；

Nb：0~0.15%；

V：0~0.45%；

B : 0 ~ 0.050 % ;

Mg : 0 ~ 2.0 % ;

Ca : 0 ~ 2.0 % ;

REM : 0 ~ 0.0150 % ;

残部 : Fe および不純物 ;

からなり、

(c) 前記溶接継手の溶接金属の化学組成が、質量%で :

C : 0.12 ~ 0.25 % ;

Si : 0.05 ~ 0.80 % ;

Mn : 0.2 ~ 2.5 % ;

Al : 0.005 ~ 0.10 % ;

P : 0.05 % 以下 ;

S : 0.02 % 以下 ;

N : 0.015 % 以下 ;

Cu : 0 ~ 0.5 % ;

Ni : 0 ~ 0.7 % 未満 ;

Cr : 0 ~ 2.5 % ;

Mo : 0 ~ 1.0 % ;

Ti : 0 ~ 0.10 % ;

Nb : 0 ~ 0.10 % ;

V : 0 ~ 0.30 % ;

B : 0 ~ 0.0100 % ;

O : 0 ~ 0.100 % ;

Mg : 0 ~ 0.10 % ;

Ca : 0 ~ 0.10 % ;

REM : 0 ~ 0.0100 % ;

残部 : Fe および不純物 ;

からなり、

下記の式2で計算されるCENが、0.20～0.58%であり、
前記溶接金属の最表層の表面下1mmの平均ビッカース硬さHVが、
380～533であり、

上記(a)～(c)の全てを満足する
ことを特徴とする溶接継手の製造方法。

$$CEN = [C] + (0.75 + 0.25 \times \tanh(20 \times ([C] - 0.12))) \times ([Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Cu] / 15 + [Ni] / 20 + ([Cr] + [Mo] + [Nb] + [V]) / 5 + 5 \times [B]) \quad \dots (式2)$$

ただし、[]付元素は、それぞれの元素の含有量(質量%)を表す。
。

[請求項3] 前記フラックス入りワイヤ中の前記CaOの含有量が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で0.15%以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の溶接継手の製造方法。

[請求項4] 前記金属弗化物、前記金属酸化物、および前記金属炭酸塩を除く、前記フラックス入りワイヤ中の合金の化学組成が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で：

Ni：0～0.1%である

ことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法。

[請求項5] 前記金属弗化物、前記金属酸化物、および前記金属炭酸塩を除く、前記フラックス入りワイヤ中の合金の化学組成が、前記フラックス入りワイヤの全質量に対する質量%で：

Cu：0～0.5%；

Cr：0～1.0%；

Mo：0～0.5%；

Ti：0～0.05%；

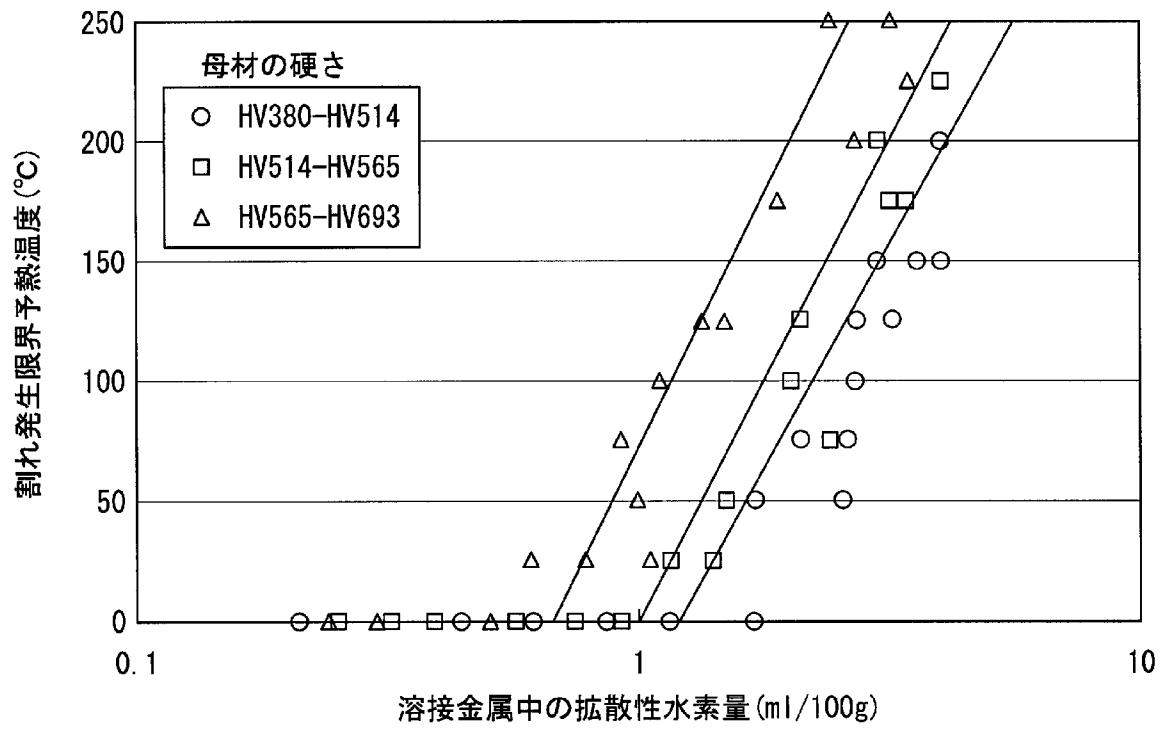
Nb：0～0.05%

であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法。

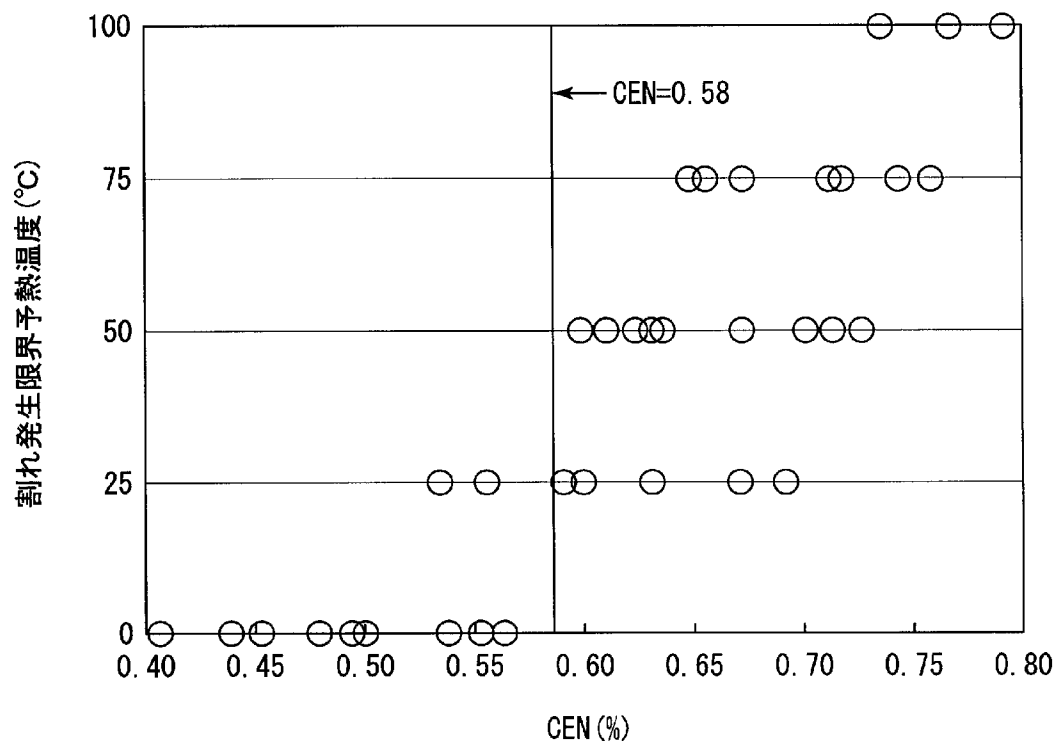
[請求項6] 前記鋼製外皮がシームレス形状であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法。

[請求項7] 前記フラックス入りワイヤの表面にパーフルオロポリエーテル油が塗布されていることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の溶接継手の製造方法。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080242

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K35/368(2006.01)i, B23K35/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K35/00-35/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-205483 A (Nippon Steel Welding Products & Engineering Co., Ltd.), 31 July 2001 (31.07.2001), claims; table 1 (Family: none)	1-7
A	JP 8-257785 A (Nippon Steel Corp.), 08 October 1996 (08.10.1996), claims; tables 2 to 7 (Family: none)	1-7
A	JP 8-197283 A (Nippon Steel Corp.), 06 August 1996 (06.08.1996), claims; tables 1, 2 (Family: none)	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 January, 2014 (29.01.14)

Date of mailing of the international search report

10 February, 2014 (10.02.14)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080242

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-217195 A (Nippon Steel Corp.), 29 August 1990 (29.08.1990), claims; table 3 (Family: none)	1-7
E, A	WO 2013/168670 A1 (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.), 14 November 2013 (14.11.2013), claims; paragraph [0001] (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B23K35/368(2006.01)i, B23K35/30(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B23K35/00-35/40			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
A	JP 2001-205483 A（日鐵溶接工業株式会社）2001.07.31, 特許請求の範囲, 表1（ファミリーなし）	1-7	
A	JP 8-257785 A（新日本製鐵株式会社）1996.10.08, 特許請求の範囲, 表2-表7（ファミリーなし）	1-7	
A	JP 8-197283 A（新日本製鐵株式会社）1996.08.06, 特許請求の範囲, 表1, 表2（ファミリーなし）	1-7	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 29.01.2014		国際調査報告の発送日 10.02.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 鈴木 毅 電話番号 03-3581-1101 内線 3435	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2-217195 A (新日本製鐵株式会社) 1990. 08. 29, 特許請求の範囲, 第 3 表 (ファミリーなし)	1 - 7
E, A	WO 2013/168670 A1 (新日鐵住金株式会社) 2013. 11. 14, 請求の範囲, [0 0 0 1] (ファミリーなし)	1 - 7