

明 細 書

発明の名称：狭開先ガスシールドアーク溶接方法

技術分野

[0001] 本発明は、ガスシールドアーク溶接方法に係り、特に、板厚 22 mm 以上の鋼板に適用し、溶接金属の引張強さ 550 MPa 以上を確保しうる狭開先ガスシールドアーク溶接方法に関する。ここでいう、「狭開先」とは、開先角度が 25° 以下で、かつ被溶接材（母材）となる鋼板間の最小開先ギャップの幅が当該鋼板の板厚の 50% 以下であることを意味する。

背景技術

[0002] 鋼板の溶接施工に用いられるガスシールドアーク溶接は、CO₂ 単独のガス、あるいは Ar と CO₂ との混合ガスを溶融部のシールドに用いる消耗電極式が一般的であり、自動車、建築、橋梁および電気機器等の製造分野において幅広く用いられている。

[0003] ところで近年、鋼構造物の大型化及び厚肉化に伴い、製作過程での溶接、特に鋼板の突き合わせ溶接における溶着量が増大し、さらには溶接施工に多大の時間を要し、施工コストの増大を招いている。

[0004] これを改善する方法として、板厚に対して小さい間隙の開先をアーク溶接法により多層溶接する、狭開先ガスシールドアーク溶接の適用が考えられる。この狭開先ガスシールドアーク溶接は、通常のガスシールドアーク溶接法と比べ、溶着量が少なくなり、溶接の高効率化及び省エネルギー化が達成でき、ひいては施工コストの低減をもたらすものと期待されている。

[0005] さらに、最近では、この狭開先ガスシールドアーク溶接法を多電極で行う技術が提案されている。多電極溶接は、1 回の溶接で開先を充填するための溶着金属の付着量を多くすることができるため、単電極溶接に比べて、高い溶接能率を得ることが可能であり、溶接の高効率化に対して有効な手段となっている。

[0006] 例えば、特許文献 1 には、鋼板を狭開先の多層溶接により接合する狭開先

ガスシールドアーク溶接方法が開示されている。この特許文献1では、初層溶接を2電極以上の多電極溶接にて行う。そして、第1電極と第2電極を予め定めた平行な溶接線に沿う位置とし、第1電極と第2電極の溶接ワイヤ先端間の距離を5mm～16mmの範囲に制御するとしている。また、溶接線の直角方向に対する、第1電極と第2電極の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度を45°以下の範囲に制御するとしている。これらの方法により、ガス切断やプラズマ切断等の開先加工を施した場合においても、溶接欠陥の発生がなく、溶接施工能率が向上するという効果が得られることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第6137053号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、特許文献1に記載された技術は、母材に高強度鋼が適用される場合、特に溶接部に引張強さ550MPa以上の高い強度が要求される場合に、十分な引張強さが確保できなかった。

[0009] 本発明は、かかる従来技術に鑑み、高い溶接施工能率で、溶接金属の十分な強度を確保できる狭開先ガスシールドアーク溶接方法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

[0010] 本発明者らは、上記した目的を達成するために、溶接金属の強度を向上させる溶接方法について検討を重ねた。その結果、溶接ワイヤの炭素当量をワイヤ本数で除した平均値を0.400質量%以上とし、各電極の最大と最小の入熱量の比を1.40以下とし、入熱量の総和を10kJ/cm～60kJ/cmとすることが重要であることを知見した。

[0011] 本発明は、この知見に基づきさらに検討を加えてなされたものであり、そ

の要旨構成は次のとおりである。

〔１〕板厚 t : 22 mm 以上の鋼板を開先角度 θ : 25° 以下、底部開先ギャップ G : 7 mm ~ 18 mm とする狭開先の多層溶接で接合する狭開先ガスシールドアーク溶接方法であって、前記多層溶接を、3 電極以上の多電極溶接とし、各溶接ワイヤの、下記（１）式で定義する炭素当量（ Ceq ）の総和を各電極の本数で除した平均値を 0.400 質量% 以上とし、前記各電極の入熱量の最大と最小の入熱量の比を 1.40 以下とし、前記各電極の入熱量の総和を $10\text{ kJ/cm} \sim 60\text{ kJ/cm}$ とする狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

$$Ceq = [C] + [Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Ni] / 40 + [Cr] / 5 + [Mo] / 4 + [V] / 14 \quad \dots (1)$$

ここで、〔元素〕は、溶接ワイヤ中の元素含有量（質量%）を示し、添加しない場合は 0 を代入する。

〔２〕前記〔１〕において、第 1 電極及び第 2 電極のいずれか一方をワイヤマイナス（正極性）、他方をワイヤプラス（逆極性）とし、前記第 1 電極と前記第 2 電極の各溶接トーチ先端の給電チップから供給する溶接ワイヤ先端間の距離 a を 5 mm ~ 16 mm とし、開先幅方向に対する、前記第 1 電極と前記第 2 電極の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度 α を 60° 以下とし、前記各電極に使用する前記溶接ワイヤの直径を 1.0 mm ~ 1.6 mm の範囲とし、前記第 2 電極以降の隣り合う電極間の距離を、10 mm ~ 100 mm とする狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

〔３〕前記〔２〕において、第 3 電極以降の電極を前記第 1 電極及び前記第 2 電極の後方の開先中央に配置する狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

〔４〕前記〔１〕～〔３〕のいずれか 1 つにおいて、シールドガスとして 20 体積% 以上の CO_2 ガスを含有した混合ガスを用いる狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

〔５〕前記〔１〕～〔４〕のいずれか 1 つにおいて、正極性の電極に用いる溶接ワイヤのうち、少なくとも 1 本の溶接ワイヤが REM（希土類元素）を

0.005質量%～0.060質量%含有する狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

発明の効果

- [0012] 本発明によれば、溶接能率の高い狭開先多層溶接におけるガスシールドアーク溶接の施工において、継手の溶接金属に550MPaを超える引張強さを要求される場合であっても、十分に対応することができる。さらに、この施工により得られた狭開先ガスシールドアーク溶接継手は、従来の溶接継手と比較して製造コストが大幅に低減するので、特に建築、橋梁および造船等の一般構造物に適用することが極めて有用であるという効果もある。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]図1は、本発明で用いる開先形状を模式的に示す説明図である。
[図2]図2は、本発明において4電極で溶接施工する際の施工要領の1例を示す説明図であり、(a)は正面図、(b)は上面図である。

発明を実施するための形態

- [0014] 以下、本発明について具体的に説明する。
- [0015] 本発明は、板厚 t ：22mm以上の鋼板を、開先角度 θ ：25°以下、底部開先ギャップ G ：7mm～18mmとする狭開先多層溶接で接合する狭開先ガスシールドアーク溶接方法である。なお、ここでいう「鋼板」には、厚肉鋼材、厚板鋼材等も含むものとする。
- [0016] [鋼板の板厚 t ：22mm以上]
- 鋼板1の板厚 t （図1参照）は22mm以上とする。板厚 t が22mm未満では、従来のレ形開先において、開先角度を大きくして開先ギャップを小さくすることで、場合によっては本発明で対象とする開先よりも開先断面積が小さくなり、レ形開先の方が溶着量の小さい高能率な溶接となるからである。なお、好ましくは、30mm以上である。
- [0017] さらに、特殊な構造物も含めても、鋼構造物の板厚は200mm以下の場合が多いので、本発明では、鋼板の板厚 t の上限は200mmとすることが好ましい。

[0018] また、本発明は、軟鋼板から 780MPa 級の高張力鋼板までの各種厚鋼板に適用することができる。590MPa 級高張力厚鋼板の溶接も、予熱なしで可能である。

[0019] [開先角度 θ : 25° 以下]

本発明で使用する開先の形状は、底部にギャップを有する V 形開先又は I 形開先 ($\theta = 0^\circ$ を含む) の狭開先の形状である。底部にギャップを有する V 形開先の例を、図 1 に示す。ここで、1 は鋼板 (母材) で、2 は開先面であり、鋼板 1 の開先部の開先断面積は、小さいほどより高能率な溶接を可能とする反面、融合不良等の欠陥が生じやすい。また、開先部の開先角度 θ が 25° を超える場合は、従来の施工方法でも実施可能である。このため、本発明では、従来の施工方法では施工が困難であり、かつ一層の高能率化が見込まれる開先角度 θ が 25° 以下の場合を対象とする。なお、V 形開先において、開先角度 θ が 0° の場合は、いわゆる I 形開先と呼ばれ、溶着量の面からは、この 0° の場合が最も効率的である。しかしながら、溶接熱歪により溶接中に開先が閉じてくる場合があるため、これを見込んで、板厚 t に応じた開先角度 θ を設定することが好ましい。なお、板厚 t が 100mm を超える場合の好適範囲の上限は 10° とするのが好ましい。より好ましい開先角度 θ は、 $5^\circ \sim 10^\circ$ である。

[0020] [底部開先ギャップ G : 7mm ~ 18mm]

鋼板の開先部は、小さいほどより早く高能率な溶接を可能とする反面、融合不良等の欠陥が生じやすい。また、溶接開始前の開先部の底部間のギャップ (開先幅) である底部開先ギャップ G (図 1) が 18mm を超える溶接は、従来の施工方法でも実施可能である。このため、本発明では、従来の施工方法に比べ、一層の高能率化が見込まれる底部開先ギャップ G が 18mm 以下を対象とする。一方、底部開先ギャップ G が 7mm 未満では、3 電極以上の電極による溶接施工が困難となる場合がある。したがって、底部開先ギャップ G は、7mm ~ 18mm の範囲とする。好ましくは、8mm ~ 12mm の範囲である。なお、溶接施工時には裏当材 7 を用いる (図 2 (a) 参照)

ことが好ましい。

[0021] [3電極以上の多電極多層溶接]

本発明では、上記した狭開先を用いて、初層及び第2層以降の各層をいずれも、3電極以上の電極による溶接で多層溶接して接合するものである。ここで、各層は1層当たり複数パスの溶接で形成することも許容されるが、溶接施工能率の観点から各層は1層当たり1パスの溶接で形成することが好ましい。

[0022] また、ここで、電極数を3電極以上とするのは、2電極以下では、溶接施工能率を向上させることが困難なためである。なお、好ましくは、3電極以上5電極以下である。5電極を超える場合は溶接金属中に成分の不均一が生じやすいため好ましくないからである。

[0023] 本発明において4電極で溶接施工する際の施工要領の1例を図2に示す。図2において、3、4、5、6は第1、第2、第3、第4電極、3a、4a、5a、6aは各電極3、4、5、6の給電チップ、3b、4b、5b、6bは各電極3、4、5、6に供給する溶接ワイヤ、7は裏当材である。また、8は溶接線（溶接ワイヤの先端を沿わせる線）、9は初層の溶接ビード、10は熔融池（第2層）、11は溶接中の溶接ビード（第2層）である。なお、図2の例は、溶接ワイヤ3b、4bの給電チップ3a、4aからの突き出し部を曲線状とした場合であるが、本発明ではこれに限らず、前記突き出し部を直線状とする場合も許容される。

[0024] [各溶接ワイヤの炭素当量（Ceq）の総和を電極の本数で除した平均値：0.400質量%以上]

炭素当量（Ceq）は、下記（1）式で定義され、溶接金属の引張強さに大きく影響する指標である。

$$Ceq = [C] + [Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Ni] / 40 + [Cr] / 5 + [Mo] / 4 + [V] / 14 \dots (1)$$

ここで、〔元素〕は、溶接ワイヤ中の元素含有量（質量%）を示し、添加しない場合は0を代入する。

[0025] 前記各溶接ワイヤの炭素当量 (C e q) の総和を電極本数で除した平均値は、以下「平均C e q」ともいう。平均C e qは以下の (2) 式で定義される。

$$\text{平均C e q} = ([\text{C e q} \# 1] + [\text{C e q} \# 2] + [\text{C e q} \# 3] + \cdots + [\text{C e q} \# n]) / n \quad \cdots (2)$$

ここで、[C e q # i] (i : 1 ~ n) は第 i 電極の溶接ワイヤのC e q、n は電極の総数を示す。

[0026] 本発明者らは、溶接金属に引張強さ 550 MPa 以上を確保するには、溶接金属のC e qが0.320質量%以上である必要があること、そしてそのためには、用いる溶接ワイヤの平均C e qを0.400質量%以上とする必要があることを実験により見出した。よって、平均C e qは0.400質量%以上とする。好ましくは0.420質量%以上である。なお、平均C e qは過大であると溶接金属の靱性に悪影響を及ぼす懸念があるため、0.520質量%を上限とすることが好ましい。

[0027] [各電極の入熱量の最大と最小の入熱量の比 : 1.40以下]

各溶接ワイヤから溶着する金属の量は各電極の入熱量の影響を受ける。前記平均C e qが0.400質量%以上であっても、各電極間で入熱量に偏りがあれば溶接金属に十分なC e qを付与できない場合がある。すなわち、前記各電極の入熱量の最大と最小の入熱量の比 (以下、「入熱量の最大/最小比」ともいう) が、1.40超の場合、溶接金属のC e qが0.320質量%以上に到達しない場合がある。よって、入熱量の最大/最小比は1.40以下とした。

[0028] ここで、入熱量の定義式は、下記 (3) 式で定義される。

$$\text{入熱量 (kJ/cm)} = \{ \text{溶接電流 (A)} \times \text{溶接電圧 (V)} / 1000 \} \times 60 / \{ \text{溶接速度 (cm/分)} \} \quad \cdots (3)$$

[0029] この定義式で計算した各電極の入熱量を比較して最大、最小の入熱量を選定し、選定した最大、最小の入熱量の比を入熱量の最大/最小比とする。各電極の入熱量が相等しい場合、入熱量の最大/最小比は、1.00である。

[0030] 入熱量の最大／最小比が1.40以下となる溶接電流、溶接電圧及び溶接速度を設定することにより、溶接金属の全長に亘り安定的に Ce_q が0.320質量%以上となり、引張強さ550MPa以上を確保できる。なお、入熱量の最大／最小比は、好ましくは1.20以下である。

[0031] [各電極の入熱量の総和：10kJ/cm～60kJ/cm]

各電極の入熱量の総和が10kJ/cm未満では溶接金属の強度が過剰に高くなり、靱性低下や低温割れの懸念がある。一方、各電極の入熱量の総和が60kJ/cmを超えると、溶接金属の強度が低下し、溶接金属に550MPa以上の引張強さを確保できなくなる場合がある。よって、各電極の入熱量の総和は、10kJ/cm～60kJ/cmとする。好ましくは、15kJ/cm～45kJ/cmである。

[0032] 本発明においては、前述した溶接ワイヤの平均 Ce_q 、入熱量の最大／最小比及び各電極の入熱量の総和に係る溶接条件を必須とするが、それ以外の好ましい溶接条件として、以下の諸条件が挙げられる。

[0033] [電極の極性]

第1電極と第2電極とを同極性（例えば、第1電極及び第2電極ともワイヤプラス）とすると、引き合いの電磁力によって互いのアークが内向きとなり、熱が開先中央に集中することになる。このため、開先面において十分な溶融が得られなくなる場合がある。一方、第1電極及び第2電極のうち一方をワイヤマイナス（正極性）、他方をワイヤプラス（逆極性）とし、第1電極と第2電極の配置を適正に制御すると、互いの溶接電流による磁場が強い外向きの電磁力を生じ、アークが互いに反発することとなる。その結果、開先面において十分な溶融深さを得ることが可能となる。以上により、本発明では、第1電極及び第2電極のうち一方をワイヤマイナス（正極性）、他方をワイヤプラス（逆極性）とすることが好ましい。なお、第3電極5以降の電極の極性は、特に限定されず、ワイヤマイナス（正極性）、ワイヤプラス（逆極性）のいずれであってもよい。

[0034] [第1電極と第2電極の配置]

狭開先多層溶接においては、1層当たり1パスとする場合、1電極では溶接熱が開先中央に集中し易いため、鋼板の開先面における溶融が不足し、融合不良（コールドラップ）や、開先面に付着したスパッタ及びスラグ巻き込み等による欠陥が生じ易い。特に、初層溶接では、鋼板の温度が低く、溶融深さが小さくなるため、融合不良による欠陥が生じ易い。したがって、本発明では、図2（b）に示すように、第1電極3と第2電極4とを予め定めた平行な溶接線8に沿う位置に配置することが好ましい。

[0035] [第1電極と第2電極の溶接ワイヤ先端間距離 a : 5 mm ~ 16 mm]

第1電極3と第2電極4の各溶接トーチ先端の給電チップ3a、4aから供給する溶接ワイヤ3b、4b先端間の距離（以下、単に「第1-2電極間距離」ともいう。図2（b）参照） a は、5 mm ~ 16 mmの範囲に調整することが好ましい。なお、ここで言う「溶接ワイヤ先端間の距離」とは、各電極における溶接ワイヤ先端の中心間の距離を指すものとする。

[0036] 第1-2電極間距離 a が5 mm未満では、電極間に電流（電子）が流れることで、アークそのものの持つ熱が減少し、開先面2の十分な溶融が得られなくなる場合がある。一方、第1-2電極間距離 a が16 mm超では、電極間の外向きの電磁力は距離に反比例し小さくなり、開先面2を流れる電流によって生じる内向きの電磁力に打ち勝つためのアーク反発力が得られず、互いのアークが内向きとなって熱が開先中央に集中する。結果的に、開先面2における十分な溶融が得られなくなる場合がある。

[0037] また、狭開先溶接では、スパッタの開先面への付着による溶接欠陥の抑制が課題となる。しかしながら、第1電極3と第2電極4を予め定めた平行な溶接線8、8に沿うように配置し、その一方をワイヤマイナス（正極性）、他方をワイヤプラス（逆極性）とするとともに、第1-2電極間距離 a を5 mm ~ 16 mmの範囲に調整する。それにより、スパッタはそれぞれの溶融金属に吸収され、開先面へのスパッタの付着が抑制されるので、健全な溶接部を得ることができる。

[0038] 以上のことから、第1-2電極間距離 a は、5 mm ~ 16 mmの範囲に調

整することが好ましい。

[0039] [第1電極と第2電極の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度 α : 60° 以下]

本発明では、アークの反発を利用して開先面の溶融を確保している。しかしながら、開先幅方向（溶接線8の直角方向）に対する、第1電極3と第2電極4の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度 α が 60° を超えると、十分なアークの反発力が得られず、開先面において十分な溶融を得ることができなくなる場合がある。したがって、第1電極と第2電極の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度（以下、単に「第1-2電極配置角度」ともいう、図2（b）参照） α は 60° 以下とすることが好ましい。より好ましくは 50° 以下である。なお、第1-2電極配置角度 α は 0° であってもよい。

[0040] [溶接ワイヤの直径: $1.0\text{ mm} \sim 1.6\text{ mm}$]

狭開先ガスシールドアーク溶接用の溶接ワイヤは、一般的に、直径 $0.6\text{ mm} \sim 2.0\text{ mm}$ の範囲で製造されているが、同じ電流で溶接する場合は、一般的にワイヤ径が細いほどジュール熱によって高い溶着速度が得られる。このため、高能率な溶接施工を実現するためには比較的細いワイヤ径を選択することが好ましい。一方、ワイヤ径が細すぎるとジュール熱によってワイヤが軟化し、溶接が不安定になる。このため、本発明において使用する溶接ワイヤの直径は $1.0\text{ mm} \sim 1.6\text{ mm}$ の範囲とすることが好ましい。

[0041] [第2電極以降の隣り合う電極間の距離: $10\text{ mm} \sim 100\text{ mm}$]

第2電極4以降の隣り合う電極間の距離とは、図2（b）の例でいうと、第2電極4と第3電極5の各溶接トーチ先端の給電チップ4a、5aから供給する溶接ワイヤ4b、5b先端間の距離（以下、単に「第2-3電極間距離」ともいう）距離bである。また、第3電極5と第4電極6の各溶接トーチ先端の給電チップ5a、6aから供給する溶接ワイヤ5b、6b先端間の距離（以下、単に「第3-4電極間距離」ともいう）cである。これら距離b、距離cといった、第2電極4以降の隣り合う電極間の距離は、 $10\text{ mm} \sim 100\text{ mm}$ の範囲とすることが好ましい。この範囲とすることで、耐高温

割れ性が向上するからである。より好ましくは、12mm～80mmである。

[0042] [第3電極以降の電極の配置]

初層溶接で溶接盛り高さが底部開先ギャップGを超えると、高温割れのリスクが高くなる。これを回避するには、第3電極5以降の電極を第1電極3及び第2電極4の後方の開先中央に配置することが有効である。この理由は、第3電極5以降の電極によりビード中央へ熱を付与することで最終凝固域が変化するためである。また、これにより積層数の低減が更に可能となり、多層溶接における積層欠陥のリスクを大きく低減できる。この理由は、開先内の溶接金属の偏りを防止できるためである。なお、ここで「開先中央」とは、開先部の中心から底部開先ギャップGの±10%以内の範囲を許容する。

[0043] [シールドガス：20体積%以上のCO₂ガスを含有した混合ガス]

溶接金属中の酸素量が、シールドガス組成にも大きく影響を受けることから、本発明に係る狭開先ガスシールドアーク溶接で使用するシールドガスは、CO₂ガスを20体積%以上、残りをAr等の不活性ガスとする混合ガスを使用することが好ましい。なお、より好ましくはCO₂ガス：100体積%の単独ガスである。本発明では、溶接金属の湯流れを支配する溶接金属中の酸素濃度を高くし、溶接金属の対流を中央から外向きにして、開先内の鋼板底部における溶融深さを安定して深くすることが好ましい。

[0044] [溶接ワイヤのREM含有量：0.005質量%～0.060質量%]

REM（希土類元素）は、溶接金属の介在物の微細化や溶接施工時の靱性改善に有効な元素である。また、REMを添加した溶接ワイヤを正極性となる少なくとも1本の電極に供給して溶接を行うと、溶滴の微細化と移行の安定化を図ることができる。この溶滴移行の微細化により、スパッタの発生を抑制し正極性でも安定したガスシールドアーク溶接が可能となる。以上のことから、本発明では、正極性となる少なくとも1本の電極にREM（希土類元素）を含有する鋼ワイヤを供給することが好ましい。なお、REM以外の

元素は、J I S Z 3312に規定されるように、溶接ワイヤのグレード（鋼種）に応じて、通常、含有される適正量を含むものとする。

[0045] ここで、REMの含有量が0.005質量%未満では、上記した溶滴の微細化と移行の安定化を図り難い。一方、0.060質量%を超えて含有すると、ワイヤ製造工程中に割れが生じるため、溶接ワイヤの製造が困難となる。このため、REMの含有量は、0.005質量%～0.060質量%の範囲とするのが好ましい。より好ましくは、0.010質量%～0.055質量%である。

[0046] [その他の溶接条件]

本発明においては、上述した溶接条件以外の条件は、特に限定する必要はなく、定法に従えばよい。例えば、溶接電圧：32V～37V、溶接速度：30cm/min～90cm/min、溶接ワイヤ突き出し長さ：15mm～30mmとすればよい。

[0047] また、図2（a）に示す、第1電極3及び第2電極4の溶接ワイヤ3b及び4bの各底部開先に対する供給角度 ϕ （以下、単に「供給角度 ϕ 」ともいう）は、垂線に対して 0° ～ 15° の範囲とすればよい。なお、供給角度 ϕ は、それぞれ開先面に向いている方向を+とした。また、ここでいう垂線とは、底部開先に対する垂線をいう。また、第1電極3及び第2電極4の溶接ワイヤ先端の側端部と開先面2の底部との距離d（以下、単に「距離d」ともいう）は、0.1mm～3.0mmの範囲とすればよい。また、第1電極3及び第2電極4の溶接トーチ先端の給電チップ3a及び4aから供給する溶接ワイヤの曲率半径（以下、単に「ワイヤ曲率半径」ともいう）は、150mm～500mmとすればよい。

[0048] [溶接ワイヤの底部開先に対する供給角度 ϕ ：垂線に対して 0° ～ 15°]

アークには指向性があり、電極（溶接ワイヤ）先端が指す方向に向きやすい性質がある。このアークの指向性を開先面の溶融に有効に活かすためには、電極先端が指す方向を開先面に向けることが有利であり、この電極先端が

指す方向は、溶接トーチ先端の給電チップから供給する溶接ワイヤの供給角度 ϕ により大きく変化する。なお、溶接トーチ先端の給電チップから供給する溶接ワイヤの底部開先に対する供給角度 ϕ は、図2（a）に示す。

[0049] 溶接トーチ先端の給電チップ3 a及び4 aから供給する溶接ワイヤ3 b及び4 bの底部開先に対する供給角度 ϕ が垂線に対して 0° 未満では、電流がより抵抗の小さい経路に流れる。その結果、アークが電極であるワイヤを這い上がり（アークの這い上がり）、狙いとする開先面2、特に底部での溶融を維持することが困難となる。一方、給電チップから供給する溶接ワイヤの底部開先に対する供給角度 ϕ が垂線に対して 15° を超えると、アークが開先面2に向き過ぎるために溶接ビード形状が凸となり、初層以降の溶接におけるアークでの溶融が不十分となって溶接欠陥を生じ易くなる。このため、第1電極3及び第2電極4の溶接ワイヤ3 b及び4 bの各底部開先に対する供給角度 ϕ は、垂線に対して $0^\circ \sim 15^\circ$ の範囲とすることが好ましい。より好ましくは、 $5^\circ \sim 12^\circ$ である。

[0050] なお、第1電極3及び第2電極4の溶接ワイヤの各底部開先に対する供給角度 ϕ は、給電チップ3 a及び4 a、特に給電チップ先端の傾きと同じになるため、この給電チップ先端の傾きにより、この溶接ワイヤの供給角度 ϕ を制御することができる。

[0051] [第1電極及び第2電極の溶接ワイヤ先端の側端部と鋼板の開先面2との距離d：0.1 mm～3.0 mm]

第1電極3及び第2電極4の溶接ワイヤ先端の側端部と鋼板の開先面2の底部との距離d（図2（a））は、0.1 mm～3.0 mmが好ましい。距離dが0.1 mm未満では、アークがワイヤ上部と開先面2との間で発生し、鋼板底部の開先面2を効率良く溶融できない場合がある。一方、距離dが3.0 mmを超えると、アークが開先面2から離れ、開先面2を効率良く溶融できなくなる場合がある。このため、距離dは、0.1 mm～3.0 mmとすることが好ましい。より好ましくは0.5 mm～2.0 mm、さらにより好ましくは0.5 mm～1.0 mmである。ここでいう「溶接ワイヤの先

端の側端部」とは、各電極で溶融させようとする鋼板の開先面 2 に近い側の側端部を指すものとする。

[0052] [給電チップに送給する溶接ワイヤの曲率半径：150mm～500mm]

本発明では、第1電極3及び第2電極4の溶接トーチ先端の給電チップ3a及び4aから供給する溶接ワイヤ3b及び4bの供給角度 ϕ を制御するため、先端を曲げた給電チップを使用する。このとき、溶接ワイヤが先端を曲げた給電チップを通ることになるが、よりスムーズに通過させるためには、いわゆる3点ローラー等を用いて溶接ワイヤを予め湾曲させておくことが好ましい。このときの溶接ワイヤの曲率半径が、150mm未満ではワイヤの送給抵抗が大きくなり、安定して溶接ワイヤを送給することができず、アークを維持することが困難となる。一方、溶接ワイヤの曲率半径が500mmを超えると、給電チップ先端が曲がった状態でのワイヤの送給抵抗軽減に効果がないため、やはり安定して溶接ワイヤを送給することができず、アークを維持することが困難となる。以上のことから、第1電極3及び第2電極4の給電チップ3a及び4aに送給する溶接ワイヤ3b及び4bの曲率半径は、150mm～500mmとすることが好ましい。より好ましくは、175mm～475mmである。

実施例

[0053] 以下、実施例に基づき、さらに本発明について説明する。ただし、下記の実施例は、本発明を例示してより詳細に説明するためのものにすぎず、本発明の権利範囲を限定するものではない。

[0054] 鋼板に表1に示す各No.の開先形状をガス切断により付与した母材（引張強さ550MPa以上）に対し、表1～3に示す各No.の溶接条件にて1層1パスの多電極多層の狭開先ガスシールドアーク溶接を施して溶接継手を作製した。なお、いずれのNo.の施工においても第3電極以降の電極は第1電極及び第2電極の後方の開先中央に配置した。また、供給角度 ϕ は8°とした。また、ワイヤ曲率半径は、300mmとした。

- [0055] 作製した溶接継手について、溶接部断面をナイタールにて腐食した後、溶接欠陥（高温割れ、融合不良）の有無を調査し、いずれの溶接継手にも溶接欠陥は認められなかった。
- [0056] 前記溶接継手の溶接金属を化学分析し、求めた Ceq は、本発明例では0.320質量%以上、比較例では0.320質量%未満の範囲であった。
- [0057] 前記溶接継手の溶接金属からJIS Z 3111の規定に準拠して丸棒引張試験片を採取し、溶接金属の引張強さを評価した。評価の結果を表4に示す。表4のとおり、本発明例ではいずれも溶接金属の引張強さが550MPa以上に到達した。これに対し、平均 Ceq が0.400質量%未満の比較例No. 8、入熱量の総和が60kJ/cm超の比較例No. 9及び入熱量の最大/最小比が1.40超の比較例No. 10では溶接金属の引張強さが550MPaを下回った。

[0058] [表1]

No.	母材の鋼種	母材の板厚t (mm)	開先形状			使用電極数	溶接パス数	備考
			形状	開先角度 θ (°)	底部開先ギャップG (mm)			
1	550MPa級鋼	100	V形	5	10	3	18	本発明例
2	570MPa級鋼	80	V形	10	9	3	15	本発明例
3	550MPa級鋼	70	V形	6	12	3	9	本発明例
4	550MPa級鋼	50	V形	5	10	3	8	本発明例
5	550MPa級鋼	45	V形	8	8	3	4	本発明例
6	590MPa級鋼	25	I形	0	10	3	4	本発明例
7	550MPa級鋼	65	V形	10	11	3	19	本発明例
8	550MPa級鋼	100	V形	5	10	3	11	比較例
9	550MPa級鋼	80	V形	8	11	3	7	比較例
10	550MPa級鋼	25	I形	0	12	3	3	比較例
11	550MPa級鋼	80	V形	5	10	4	14	本発明例
12	550MPa級鋼	80	V形	5	10	4	14	本発明例

[0059]

[表2]

No.	シールドガス組成	溶接速度 (cm/分)	第1電極溶接条件					第2電極溶接条件					第3電極溶接条件					第4電極溶接条件					平均Ceq (質量%)	入熱量 の総和 (kJ/cm)	入熱量 の最大/ 最小比	備考
			ワイヤの 極性	Ceq (質量%)	電流 (A)	電圧 (V)	入熱量 (kJ/cm)	ワイヤの 極性	Ceq (質量%)	電流 (A)	電圧 (V)	入熱量 (kJ/cm)	ワイヤの 極性	Ceq (質量%)	電流 (A)	電圧 (V)	入熱量 (kJ/cm)	ワイヤの 極性	Ceq (質量%)	電流 (A)	電圧 (V)	入熱量 (kJ/cm)				
1	100%CO ₂	60	W-	0.508	275	34	9.35	W+	0.425	275	35	9.63	W+	0.508	300	32	9.60	W-	0.480	29	1.03	本発明例				
2	100%CO ₂	55	W-	0.495	300	33	10.80	W+	0.473	310	33	11.16	W-	0.495	280	32	9.77	W-	0.488	32	1.14	本発明例				
3	100%CO ₂	40	W-	0.505	285	33	14.11	W+	0.433	290	33	14.36	W-	0.495	310	33	15.35	W-	0.478	44	1.09	本発明例				
4	100%CO ₂	60	W-	0.473	300	34	10.20	W+	0.425	300	34	10.20	W+	0.492	275	32	8.80	W-	0.463	29	1.16	本発明例				
5	100%CO ₂	35	W-	0.495	290	32	15.91	W+	0.435	290	34	16.90	W-	0.485	290	33	16.41	W-	0.472	49	1.06	本発明例				
6	80%Ar- 20%CO ₂	70	W-	0.505	280	32	7.68	W+	0.432	295	33	8.06	W+	0.505	340	34	9.91	W-	0.481	26	1.29	本発明例				
7	100%CO ₂	90	W-	0.491	310	33	6.82	W+	0.445	315	33	6.93	W-	0.473	300	33	6.60	W-	0.470	20	1.05	本発明例				
8	80%Ar- 20%CO ₂	40	W-	0.395	300	34	15.30	W+	0.385	310	33	15.35	W+	0.395	320	35	16.80	W-	0.392	47	1.10	比較例				
9	100%CO ₂	28	W-	0.491	305	34	22.22	W+	0.422	305	35	22.88	W-	0.430	320	34	23.31	W-	0.448	68	1.05	比較例				
10	100%CO ₂	45	W-	0.425	265	32	11.31	W+	0.385	355	34	16.09	W-	0.425	270	33	11.88	W-	0.412	39	1.42	比較例				
11	100%CO ₂	80	W-	0.508	280	32	6.72	W+	0.425	290	33	7.18	W+	0.425	290	33	7.18	W+	0.473	280	33	6.93	本発明例			
12	100%CO ₂	80	W+	0.432	290	33	7.18	W-	0.495	280	32	6.72	W+	0.425	300	33	7.43	W-	0.508	270	32	6.48	本発明例			

註) 極性欄の「W-」はワイヤマイナス(正極性)、「W+」はワイヤプラス(逆極性)を意味する。

[表3]

No.	第1電極溶接条件			第2電極溶接条件				第3電極溶接条件			第4電極溶接条件			備考
	ワイヤ直径 (mm)	ワイヤの REM (質量%)	距離d (mm)	ワイヤ直径 (mm)	ワイヤの REM (質量%)	距離a (mm)	角度α (°)	距離d (mm)	ワイヤ直径 (mm)	ワイヤの REM (質量%)	ワイヤ直径 (mm)	ワイヤの REM (質量%)	第3-4電 極間距離 g (mm)	
1	1.2	0.025	1.0~2.5	1.2	-	14	56	1.0~2.5	1.2	-	-	-	-	本発明例
2	1.2	0.030	0.2~3.0	1.2	-	13	49	0.2~3.0	1.2	0.025	19	-	-	本発明例
3	1.2	0.025	1.5~3.0	1.2	-	15	53	1.5~3.0	1.2	0.025	18	-	-	本発明例
4	1.2	0.025	0.5~1.2	1.2	-	13	45	0.5~1.2	1.2	-	-	-	-	本発明例
5	1.2	0.025	1.5~3.0	1.2	-	7	45	1.5~3.0	1.2	0.030	20	-	-	本発明例
6	1.2	0.030	0.1~1.0	1.2	-	13	51	0.1~1.0	1.2	-	16	-	-	本発明例
7	1.2	0.030	0.5~3.0	1.2	-	14	45	0.5~3.0	1.2	0.025	11	-	-	本発明例
8	1.2	0.025	0.5~1.5	1.2	-	15	53	0.5~1.5	1.2	-	-	-	-	比較例
9	1.2	0.025	0.2~3.0	1.2	-	16	49	0.2~3.0	1.2	0.025	19	-	-	比較例
10	1.2	0.030	0.1~1.0	1.2	-	15	48	0.1~1.0	1.2	0.030	16	-	-	比較例
11	1.2	0.030	0.5~2.0	1.2	-	15	53	0.5~2.0	1.2	-	11	-	15	本発明例
12	1.2	-	0.5~1.5	1.2	0.030	13	48	0.5~1.5	1.2	-	16	0.025	10	本発明例

註1) 距離dは、第1電極及び第2電極の溶接ワイヤ先端の側端部と厚銅板の開先面の底部との距離である。
註2) 距離aは、第1-2電極間距離aである。
註3) 角度αは、第1-2電極配置角度αである。

[表4]

No.	平均Ceq (質量%)	入熱量の総 和 (kJ/cm)	入熱量の 最大/最小 比	溶接金属の 引張強さ (MPa)	備考
1	0.480	29	1.03	695	本発明例
2	0.488	32	1.14	682	本発明例
3	0.478	44	1.09	660	本発明例
4	0.463	29	1.16	644	本発明例
5	0.472	49	1.06	605	本発明例
6	0.481	26	1.29	783	本発明例
7	0.470	20	1.05	688	本発明例
8	0.392	47	1.10	498	比較例
9	0.448	68	1.05	536	比較例
10	0.412	39	1.42	515	比較例
11	0.458	28	1.07	650	本発明例
12	0.465	28	1.15	655	本発明例

符号の説明

- [0062]
- 1

鋼板
- 2

開先面
- 3

第 1 電極
- 4

第 2 電極
- 5

第 3 電極
- 6

第 4 電極
- 3 a、4 a、5 a、6 a

給電チップ
- 3 b、4 b、5 b、6 b

溶接ワイヤ
- 7

裏当材
- 8

溶接線
- 9

初層の溶接ビード
- 1 0

熔融池（第 2 層）
- 1 1

溶接中の溶接ビード（第 2 層）

請求の範囲

- [請求項1] 板厚 t : 2.2 mm 以上の鋼板を開先角度 θ : 25° 以下、底部開先ギャップ G : 7 mm ~ 18 mm とする狭開先の多層溶接で接合する狭開先ガスシールドアーク溶接方法であって、
- 前記多層溶接を、3 電極以上の多電極溶接とし、
- 各溶接ワイヤの、下記 (1) 式で定義する炭素当量 (C_{eq}) の総和を各電極の本数で除した平均値を 0.400 質量% 以上とし、
- 前記各電極の入熱量の最大と最小の入熱量の比を 1.40 以下とし、
- 前記各電極の入熱量の総和を $10 \text{ kJ/cm} \sim 60 \text{ kJ/cm}$ とする
- 狭開先ガスシールドアーク溶接方法。
- $$C_{eq} = [C] + [Si] / 24 + [Mn] / 6 + [Ni] / 40 + [Cr] / 5 + [Mo] / 4 + [V] / 14 \dots (1)$$
- ここで、[元素] は、溶接ワイヤ中の元素含有量 (質量%) を示し、添加しない場合は 0 を代入する。
- [請求項2] 第 1 電極及び第 2 電極のいずれか一方をワイヤマイナス (正極性)、他方をワイヤプラス (逆極性) とし、
- 前記第 1 電極と前記第 2 電極の各溶接トーチ先端の給電チップから供給する溶接ワイヤ先端間の距離 a を 5 mm ~ 16 mm とし、
- 開先幅方向に対する、前記第 1 電極と前記第 2 電極の溶接ワイヤ先端間を結ぶ直線の角度 α を 60° 以下とし、
- 前記各電極に使用する前記溶接ワイヤの直径を 1.0 mm ~ 1.6 mm の範囲とし、
- 前記第 2 電極以降の隣り合う電極間の距離を、10 mm ~ 100 mm とする
- 請求項 1 に記載の狭開先ガスシールドアーク溶接方法。
- [請求項3] 第 3 電極以降の電極を前記第 1 電極及び前記第 2 電極の後方の開先中央に配置する請求項 2 に記載の狭開先ガスシールドアーク溶接方法

。

[請求項4] シールドガスとして20体積%以上の CO_2 ガスを含有した混合ガスを用いる請求項1～3のいずれか1項に記載の狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

[請求項5] 正極性の電極に用いる溶接ワイヤのうち、少なくとも1本の溶接ワイヤがREM（希土類元素）を0.005質量%～0.060質量%含有する請求項1～4のいずれか1項に記載の狭開先ガスシールドアーク溶接方法。