

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関し、特に、板厚 2 2 m m 以上の鋼板に適用す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 2 5 ° 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 5 0 % 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、C O₂ 単独のガス、あるいは A r と C O₂ 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、橋梁及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くの時間が必要となり、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と比べ溶接部の断面積が小さくなるので、溶接の高能率化と省エネルギーが達成でき、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、開先を充填するための溶着金属（溶接ワイヤが溶けて開先内に付着する金属）量を電極の数だけ多くできるため、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、溶接の高能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で第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5 mm～16 mm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。さらに、鋼板の底部における溶接線の直角方向の溶融深さを1.5 mm以上とするとしている。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、初層溶接に限定されており、第2層以降の溶接において、図3に示すように、溶接ビード表面に高温割れCが発生する場合があります。高温割れ防止のための技術としては、不十分であった。

[0009] 本発明は、かかる従来技術の問題を解決し、多電極の狭開先ガスシールドアーク溶接方法において、高い溶接施工能率を達成し、かつ高温割れを抑制可能である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、高温割れを抑制する溶接方法について3電極溶接を対象に鋭意検討を重ねた。その結果、第2層以降の溶接にあたり、第1電極と第2電極の電流値を260 A～360 Aの範囲とし、第3電極の電流値を、1層前の溶接により形成された溶接ビードの幅

が次の溶接の開先ギャップとなることから、この幅に応じて制御する。これにより、高温割れが抑制できることを知見した。

[0011] 本発明は、かかる知見に基づき、さらに検討を加えて完成されたものである。すなわち、本発明の要旨は次のとおりである。

〔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_0 : 7 mm ~ 18 mm とする狭開先多層溶接における第2層以降で適用する狭開先ガスシールドアーク溶接方法であって、多層溶接を3電極による溶接とし、第1電極と第2電極の電流値 I_1 及び I_2 を 260 A ~ 360 A の範囲とし、第 i 層目の第3電極の電流値 I_{3i} [A] を下記の式(1)を満たす範囲とする狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

$$I_{3i} \leq 30 \times G_{i-1} - 10 \quad \cdots \quad (1)$$

ここで、 I_{3i} : 第 i 層目の第3電極の電流値 [A] で、 G_{i-1} : 第 i 層の1層前(第 $i-1$ 層目)の溶接により形成された溶接ビードの幅 [mm] で、 i : 2 以上の自然数である。

〔2〕前記〔1〕において、前記第1電極及び前記第2電極のうち的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 の範囲とし、溶接線の直角方向に対する、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、全ての前記電極の溶接ワイヤの直径を 1.0 mm ~ 1.6 mm の範囲とし、前記第2電極と前記第3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 b を 10 mm ~ 100 mm の範囲とする狭開先ガスシールドアーク溶接方法。

〔3〕前記〔1〕又は〔2〕において、前記第3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〕のいずれか一つにおいて、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〕のいずれか一つにおいて、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方法の第２層以降の溶接において、高温割れを抑制しつつ施工を行うことができる。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、橋梁及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、本発明で対象とする開先形状を模式的に示す説明図である。（ａ）は溶接金属表面が平坦な例、（ｂ）は表面が凸の例、（ｃ）は表面が凹の例である。

〔図２〕図２は、３電極で溶接施工する際の施工要領を示す説明図である。（ａ）は正面図、（ｂ）は上面図である。

〔図３〕図３は、溶接金属層に発生する高温割れの例を模式的に示す説明図である。

〔図４〕図４は、溶接ビードの幅と第３電極の電流値範囲との関係を示す説明図である。

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_0 ：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、ここでの「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 : 2.2 mm 以上]

鋼板 1 の板厚 t は、2.2 mm 以上とする。板厚 t が 2.2 mm 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場合があるからである。なお、好ましくは、3.0 mm 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 200 mm 以下であるため、本発明では、鋼板の板厚 t の上限は、200 mm とすることが好ましい。

[0018] また、本発明は、軟鋼板から 780 MPa 級の高張力鋼板までの各種鋼板に適用することができる。590 MPa 級高張力鋼板の溶接も、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形状は、底部にギャップを有する V 形開先（I 形開先（ $\theta = 0^\circ$ ）を含む）であり、狭開先である。その開先形状の例を、図 1 に示す。ここで、1 は鋼板（母材）で、2 は開先面である。鋼板の開先部の開先断面積は、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、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° 以下で狭開先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 100 mm 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° ～ 10° である。

[0020] [底部開先ギャップ G_0 : 7 mm ～ 18 mm]

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_0 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_0 が18mm以下を対象とする。一方、底部開先ギャップ G_0 が7mm未満では、3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_0 は、7mm～18mmの範囲とする。好ましくは、8mm～12mmの範囲である。

[0021] 〔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電極による溶接で多層溶接して接合するものであり、特に、第2層以降の溶接に適した溶接方法を提供するものである。ここで、多層溶接の層数を n とすると、各層は個々に、第1層（初層）～第 n 層（最終層）であり、途中の層を第 i 層とすると、その1層前の層は、第 $i-1$ 層である。

[0022] 〔電極の電流値〕

まず、第1電極の電流値 I_1 と第2電極の電流値 I_2 を260A～360Aの範囲とする。第1電極と第2電極の電流値 I_1 及び I_2 が260A未満では、開先面を十分に熔融できず、融合不良が発生する可能性が高くなる。一方で360Aを超えると、溶接ビードの高さが高くなり、縦長のビードとなるため高温割れリスクが増大する。したがって、第1電極の電流値 I_1 と第2電極の電流値 I_2 の範囲は、共に260A～360Aと規定した。好ましくは、270A～340Aである。

[0023] 次に、第3電極の電流値 I_3 は、多層溶接の層ごとに各層の溶接ビードの幅との関係に基づき制御する。本発明者らは、これにより、本発明の目的とする溶接各層に発生する高温割れを抑制できることを見出した。具体的には、第 i 層目の第3電極の電流値 I_{3i} を下記の式（1）を満たす範囲とする。

$$I_{3i} \leq 30 \times G_{i-1} - 10 \quad \cdots \quad (1)$$

ここで、 I_{3i} ：第 i 層目の第3電極の電流値[A]で、 G_{i-1} ：第 i 層の1層

前（第 $i - 1$ 層目）の溶接により形成された溶接ビードの幅 $[mm]$ で、 i : 2 以上の自然数である。

[0024] 第3電極の電流値 I_3^i が高くなると、溶接ビードの高さが高くなり、縦長のビードとなるため高温割れリスクが増大する。一方、溶接ビードの幅 G_i は、1層前（第 $i - 1$ 層目）の溶接により形成された溶接ビードの幅 G_{i-1} の影響を受け、層数の増加に伴いその幅も大きくなる。このことから、溶接ビードの幅と第3電極の電流値との関係を検討した結果、図4に示す範囲が良好であることを見出し、そこから上記の式（1）を導き出した。すなわち、この式（1）を満たす範囲であれば縦長の溶接ビードになることを抑制でき、高温割れを防止できるという優れた効果が得られた。

[0025] [初層溶接条件]

本発明に係る狭開先ガスシールドアーク溶接方法は、第2層以降で適用する条件として、上述した電極ごとの電流値を制御することが特徴である。したがって、本発明における溶接方法の初層溶接の条件は、特に限定されるものではない。しかしながら、本発明が適用する第2層以降の溶接条件をそのまま初層の溶接条件にも適用することができる。さらに、初層溶接における第3電極の電流値 I_3^1 を、第1電極の電流値 I_1 及び第2電極の電流値 I_2 と同等の範囲（260A～360A）としても良い。

[0026] 以下に、第2層以降で適用する好ましい溶接条件を順次説明する。また、初層の溶接条件としても、下記の条件を用いることが好ましい。

[0027] [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。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電極のうち的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。

[0028] 〔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に示すように、3電極のうち第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。なお、6は裏当材、7は溶融池、 M_1 は溶接金属第1層（初層）、 M_2 は溶接金属第2層である。

[0029] 〔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、ここでいう「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。

[0030] 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。一方、第1-2電極間距離 a が16 mmを超えると、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からである。また、狭開先溶接では、スパッ

タの開先面 2 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。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。

[0031] [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、溶接線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。そのため、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（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、55° 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。

[0032] [溶接ワイヤの直径 : 1.0 mm ~ 1.6 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 mm ~ 2.0 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 mm ~ 1.6 mm の範囲とすることが好ましい。

[0033] [第 2 電極と第 3 電極の溶接ワイヤ先端間距離 b : 10 mm ~ 100 mm]

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。図2（b）参照）距離bは、10mm～100mm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。

[0034] 〔第3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_0 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。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。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_0 の±10%以内の範囲を許容する。

[0035] 〔シールドガス：20体積%以上の CO_2 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、 CO_2 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、 CO_2 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、開先内の厚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。

[0036] 〔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、正極性となる電極にREM（希土類元素）を0.005質量%～0.060質量%含有する鋼ワイヤを供給することが好ましい。なお、REM（希

土類元素)以外の元素は、J I S Z 3 3 1 2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。

[0037] R E M (希土類元素)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、R E M (希土類元素)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。

[0038] [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、1パス当りの溶接入熱：10kJ/cm～50kJ/cmとすればよい。

[0039] また、以下に示すその他の溶接条件を満足させることにより、高温割れをさらに抑制しつつ、溶接施工をより効率よく行うことができる。

[0040] [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。

[0041] 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。

[0042] 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。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。

[0043] [溶接ワイヤ先端の側端部と底部開先面との距離 d : $0.1\text{ mm} \sim 3.0\text{ mm}$]

図 2 (a) に示すように、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 は、 $0.1\text{ mm} \sim 3.0\text{ mm}$ の範囲とするのが好ましい。底部開先における溶接ワイヤ 3 b 及び 4 b の先端の側端部と底部開先面 2 との距離 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、底部の開先面 2 を効率良く溶融できない。一方、 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。このため、溶接ワイヤ先端の側端部と底部開先面との距離 d は、 $0.1\text{ mm} \sim 3.0\text{ mm}$ とすることが好ましい。より好ましくは、 $0.5\text{ mm} \sim 2.0\text{ mm}$ であり、さらに好ましくは、 $0.5\text{ mm} \sim 1.0\text{ mm}$ である。なお、「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底部の開先面 2 に近い側の側端部を指すものとする。

[0044] [給電チップに送給する溶接ワイヤの曲率半径 : $150\text{ mm} \sim 500\text{ mm}$]

]

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

- [0045] 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。
- [0046] ガス切断により開先加工を行い、個々の開先形状を有する鋼板（母材）に対して、多層溶接を行い、2層目以降の各層の開先形状を測定する試験を行った（継手No. 1～12）。表1に、その開先形状と第1電極から第3電極までの2層目以降の各層に対して行った溶接条件を示す。
- [0047] 溶接した各層ごとに溶接金属層を切断して溶接部断面をナイタールにて腐食した後、各層ごとに高温割れの発生有無を確認した。その結果も表1に示す。
- [0048] ここで、表1に記載した溶接条件以外の条件は、以下のとおりである。用いた鋼板の鋼種（グレード）は、490MPa級鋼～590MPa級鋼であ

り、鋼板の板厚 t は、 $30\text{ mm} \sim 100\text{ mm}$ である。用いた溶接ワイヤの鋼種（グレード）は、YGW18 であり、溶接ワイヤの直径は、 1.2 mm である。

[0049] 第1－2電極間距離 a は、 14 mm であり、第2－3電極間距離 b は、 16 mm であり、第1－2電極配置角度 α は、 55° である。

[0050] 溶接速度は、 60 cm/min であり、溶接入熱量は、 $28\text{ kJ/cm} \sim 41\text{ kJ/cm}$ である。

[0051] ワイヤマイナスの電極に用いた溶接ワイヤのREM含有量は、 $0.025\text{ 質量}\% \sim 0.030\text{ 質量}\%$ である。

[0052] 溶接ワイヤの供給角度 ϕ は、 8° であり、溶接ワイヤ先端側端部と開先面との距離 d は、 0.5 mm であり、溶接ワイヤの曲率半径は、 300 mm である。

[0053]

[表1]

継手No.	鋼種 (グレード)	板厚 t (mm)	試験No.	層	開先形状			シールドガス組成 (体積%)	溶接速度 (cm/min)	第1電極溶接条件			第2電極溶接条件			第3電極溶接条件			備考		
					形状	開先角度 θ (°)	底部開先 ギャップG ₀ (mm)			1層前の 溶接ビード幅 G ₁₋₁ (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	極性	電流 (A)	電圧 (V)	極性	電流 (A)	電圧 (V)		極性	電流 (A)
1	490MPa級鋼	50	1	2層目	V形	10		80%Ar-20%CO ₂	60	ワイヤメイトス	295	33	ワイヤメイトス	290	34	ワイヤメイトス	255	35	適合	無し	本発明例
			2	3層目	V形	10	8.0	80%Ar-20%CO ₂	60	ワイヤメイトス	295	33	ワイヤメイトス	290	34	ワイヤメイトス	270	35	適合	無し	本発明例
			3	4層目	V形	10		80%Ar-20%CO ₂	60	ワイヤメイトス	295	33	ワイヤメイトス	290	34	ワイヤメイトス	280	35	適合	無し	本発明例
2	520MPa級鋼	50	4	2層目	V形	8	9.0	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	35	ワイヤメイトス	315	35	ワイヤメイトス	285	33	適合	無し	本発明例
			5	3層目	V形	8		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	35	ワイヤメイトス	315	35	ワイヤメイトス	290	33	適合	無し	本発明例
3	490MPa級鋼	30	6	2層目	I形	0	12.0	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	305	35	ワイヤメイトス	295	36	ワイヤメイトス	315	33	適合	無し	本発明例
4	520MPa級鋼	100	7	2層目	V形	5		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	35	ワイヤメイトス	315	35	ワイヤメイトス	285	33	適合	無し	本発明例
			8	3層目	V形	5	9.5	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	35	ワイヤメイトス	315	35	ワイヤメイトス	285	33	適合	無し	本発明例
5	550MPa級鋼	80	9	2層目	V形	6	10.5	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	290	33	ワイヤメイトス	285	34	ワイヤメイトス	300	30	適合	無し	本発明例
			10	3層目	V形	6		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	290	33	ワイヤメイトス	285	34	ワイヤメイトス	310	32	適合	無し	本発明例
6	590MPa級鋼	65	11	2層目	V形	8	12.0	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	32	ワイヤメイトス	320	34	ワイヤメイトス	350	34	適合	無し	本発明例
			12	3層目	V形	8		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	320	32	ワイヤメイトス	320	34	ワイヤメイトス	350	34	適合	無し	本発明例
7	490MPa級鋼	50	13	2層目	V形	5		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	300	33	ワイヤメイトス	300	34	ワイヤメイトス	310	32	適合	無し	本発明例
			14	3層目	V形	5	10.5	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	300	33	ワイヤメイトス	300	34	ワイヤメイトス	280	32	適合	無し	本発明例
8	490MPa級鋼	35	15	2層目	V形	8	10.0	20%Ar-80%CO ₂	60	ワイヤメイトス	290	33	ワイヤメイトス	290	34	ワイヤメイトス	310	35	適合	無し	本発明例
			16	2層目	V形	5	10.0	40%Ar-60%CO ₂	60	ワイヤメイトス	285	32	ワイヤメイトス	285	33	ワイヤメイトス	295	32	適合	無し	本発明例
9	520MPa級鋼	85	17	2層目	V形	5		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	330	33	ワイヤメイトス	365	34	ワイヤメイトス	285	32	適合	有り	比較例
			18	3層目	V形	5	9.0	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	330	33	ワイヤメイトス	365	34	ワイヤメイトス	295	33	適合	有り	比較例
10	520MPa級鋼	100	19	2層目	V形	4	8.5	100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	340	34	ワイヤメイトス	315	33	ワイヤメイトス	290	33	非適合	有り	比較例
			20	3層目	V形	4		100%CO ₂	60	ワイヤメイトス	340	34	ワイヤメイトス	315	33	ワイヤメイトス	310	35	非適合	有り	比較例
11	490MPa級鋼	50	21	2層目	I形	0	10.0	80%Ar-20%CO ₂	60	ワイヤメイトス	400	37	ワイヤメイトス	410	39	ワイヤメイトス	330	30	非適合	有り	比較例
12	520MPa級鋼	30																			

[0054] 本発明例はいずれも、3電極溶接で狭開先の多層溶接を行っても、高温割れの発生が見られなかった。一方、本発明の範囲を外れる比較例は、高温割れが発生し、健全な狭開先ガスシールドアーク溶接継手が得られなかった。

符号の説明

[0055] 1 鋼板（母材）
2 開先面
3 第1電極
4 第2電極
5 第3電極
6 裏当材
3a、4a、5a 給電チップ
3b、4b、5b 溶接ワイヤ
7 溶融地
8 溶接線
t 板厚、 θ 開先角度
C 高温割れ
M 溶接金属
 M_1 初層、 M_2 第2層、 M_{i-1} 第*i*層の1層前の層、 M_i 第*i*層
 G_0 底部開先ギャップ、 G_1 1層目の溶接ビードの幅、
 G_{i-1} 第*i* - 1層の溶接ビードの幅、 G_i 第*i*層の溶接ビードの幅

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_0 : 7 mm ~ 18 mm とする狭開先多層溶接における第2層以降で適用する狭開先ガスシールドアーク溶接方法であって、多層溶接を3電極による溶接とし、
- 第1電極と第2電極の電流値 I_1 及び I_2 を 260 A ~ 360 A の範囲とし、
- 第 i 層目の第3電極の電流値 I_{3i} [A] を下記の式 (1) を満たす範囲とする狭開先ガスシールドアーク溶接方法。
- $$I_{3i} \leq 3.0 \times G_{i-1} - 1.0 \quad \cdots (1)$$
- ここで、 I_{3i} : 第 i 層目の第3電極の電流値 [A] で、 G_{i-1} : 第 i 層の1層前 (第 $i-1$ 層目) の溶接により形成された溶接ビードの幅 [mm] で、 i : 2 以上の自然数である。
- [請求項2] 前記第1電極及び前記第2電極のうち的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 の範囲とし、
- 溶接線の直角方向に対する、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、
- 全ての前記電極の溶接ワイヤの直径を 1.0 mm ~ 1.6 mm の範囲とし、
- 前記第2電極と前記第3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 b を 10 mm ~ 100 mm の範囲とする請求項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] 前記第3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1又は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 R E M（希土類元素）を 0. 0 0 5 質量% ～ 0. 0 6 0 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。