

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6060604号
(P6060604)

(45) 発行日 平成29年1月18日 (2017. 1. 18)

(24) 登録日 平成28年12月22日 (2016. 12. 22)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 3 K 9/18 (2006. 01)

B 2 3 K 9/18 A

B 2 3 K 9/235 (2006. 01)

B 2 3 K 9/235 B

B 2 3 K 9/02 (2006. 01)

B 2 3 K 9/02 K

請求項の数 2 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2012-222935 (P2012-222935)
 (22) 出願日 平成24年10月5日 (2012. 10. 5)
 (65) 公開番号 特開2014-73523 (P2014-73523A)
 (43) 公開日 平成26年4月24日 (2014. 4. 24)
 審査請求日 平成27年8月25日 (2015. 8. 25)

(73) 特許権者 000001258
 J F E スチール株式会社
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
 (74) 代理人 100105968
 弁理士 落合 憲一郎
 (74) 代理人 100099531
 弁理士 小林 英一
 (72) 発明者 石神 篤史
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
 F E スチール株式会社内
 (72) 発明者 早川 直哉
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
 F E スチール株式会社内

審査官 篠原 将之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サブマージアーク溶接方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

板厚30mm以上の鋼板の突き合わせ溶接において、上面側から仮付け溶接を行なった後に、2個以上の電極を使用するサブマージアーク溶接にて、第1電極のワイヤ径を2.4~3.2mmかつ溶接電流を1000A以上として下面側の溶接を行ない、さらに2個以上の電極を使用するサブマージアーク溶接にて、第1電極のワイヤ径を4.0~6.4mmとして上面側の溶接を行ない、前記鋼板の下面側の溶接入熱と上面側の溶接入熱との全電極の合計入熱を Q (kJ/cm) とし、該合計入熱 Q が前記鋼板の板厚 t (mm) に対して下記の(3)式を満足することを特徴とするサブマージアーク溶接方法。

$$t^{1.37} \leq Q \leq 1.3 \times t^{1.37} \quad \dots (3)$$

【請求項 2】

前記鋼板の下面側の溶接を、第1電極の溶接電流 I_1 (A) と第2電極の溶接電流 I_2 (A) とが下記の(2)式を満足するように行なうことを特徴とする請求項1に記載のサブマージアーク溶接方法。

$$0.70 \leq I_2 / I_1 \leq 0.95 \quad \dots (2)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鋼板のサブマージアーク溶接方法に関するものである。

【背景技術】

10

20

【 0 0 0 2 】

鋼板を溶接する際に用いられるサブマージアーク溶接は、大電流を供給して溶込み深さおよびワイヤ溶着量を増加することができるので、高能率の溶接技術として広く普及している。特に厚鋼板のサブマージアーク溶接では、多電極を採用して、下面側と上面側をそれぞれ1パスで溶接（いわゆる両面一層盛り溶接）することも可能である。

鋼板の両面一層盛り溶接では、下面側の溶接金属と上面側の溶接金属が十分に重なり、未溶融部が生じないように、溶込み深さを確保する必要があるので、1000 A 以上の大電流を供給して溶接を行なうのが一般的である（たとえば特許文献 1、2）。

【 0 0 0 3 】

また、アンダーカット等の表面欠陥を抑制するために、幅の広いビードを形成する必要があるので、電圧を増加する等の溶接条件の調整も行なわれている。

しかしながら電流や電圧を増加すると、溶接入熱の増大を招き、溶接熱影響部の靱性が劣化するという問題が生じる。このような問題に対して、溶接熱影響部の靱性を向上するために、鋼板の特性を改善する技術（たとえば特許文献 3、4、5）、溶接施工にて細径ワイヤを使用する技術（たとえば特許文献 6、7）、ビード形状を制御する技術（たとえば特許文献 8、9）等が検討されている。

【 0 0 0 4 】

ところが、これら特許文献 3～9 に開示された技術は、溶接熱影響部の靱性を安定して高めることが困難である。つまり、下面側を溶接する際の溶接熱影響部（特に粗粒域）が、上面側の溶接によって再び加熱されるので、シャルピー衝撃試験で靱性を評価する場合に、溶接熱影響部の形状や溶接熱影響部とシャルピー衝撃試験片との位置関係によって、試験結果が大きく変動する。そのため、同じ溶接条件で鋼板の両面一層盛り溶接を行なっても、溶接施工後の材料試験において、靱性の評価にばらつきが生じる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開平11-138266号公報

【 特許文献 2 】 特開平10-109171号公報

【 特許文献 3 】 特開2002-146471号公報

【 特許文献 4 】 特開2004-52104号公報

【 特許文献 5 】 特開2009-91653号公報

【 特許文献 6 】 特開2006-272377号公報

【 特許文献 7 】 特開2009-241128号公報

【 特許文献 8 】 特開2010-274275号公報

【 特許文献 9 】 特開2010-274276号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

本発明は、鋼板の突き合わせ溶接、特に厚鋼板の両面一層盛り溶接を行なうにあたって、高靱性の溶接熱影響部を安定して得ることができるサブマージ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 】

【 0 0 0 7 】

発明者は、種々の溶接条件で鋼板のサブマージアーク溶接を行ない、溶接継手の溶接熱影響部の靱性を調査した。その結果、溶融した後に凝固して形成された溶接金属と未溶融の鋼板に形成された溶接熱影響部との境界線（以下、溶融境界線という）の形状を、下面側と上面側でそれぞれ適正に制御することによって、両面一層盛り溶接にて溶接熱影響部の優れた靱性を安定して得られることを見出した。

【 0 0 0 8 】

とりわけ板厚が30mm以上の厚鋼板では、従来と同様に、ワイヤ径の大きいワイヤ（以下

10

20

30

40

50

、太径ワイヤという)を用いて鋼板の両面を溶接すると、図2に示すように、下面側の溶融境界線4と鋼板1表面に垂直な線とのなす角 α_2 (°)、および上面側の溶融境界線5と鋼板1表面に垂直な線とのなす角 α_1 (°)が、いずれも小さくなる。つまり、下面側の溶融境界線4と上面側の溶融境界線5が、ともに鋼板1表面に対してほぼ垂直に形成されるので、溶接熱影響部の靱性を評価するためのシャルピー衝撃試験片の採取位置(すなわち試験片のノッチ位置)と溶融境界線の位置との配置を安定して制御することが極めて難しくなる。その結果、シャルピー衝撃試験で得られるデータのばらつきが大きくなることが分かった。

【0009】

これに対して、ワイヤ径の小さいワイヤ(以下、細径ワイヤという)を用いると、溶融境界線を傾けることができる。たとえば、下面側の溶接にて細径ワイヤを使用すると、図1に示すように、下面側の溶融境界線4と鋼板1表面に垂直な線とのなす角 α_2 が大きくなる。したがって、試験片のノッチ位置が溶融境界線と交差するようなシャルピー衝撃試験片を容易に採取することが可能となり、シャルピー衝撃試験で得られるデータのばらつきを抑え、ひいては靱性の適正な評価が可能となる。

【0010】

ただし細径ワイヤを使用すると、溶接金属の最深奥部、すなわち図1の下面側溶接金属2の先端部にスラグが溜まりやすくなるという問題がある。そこで、細径ワイヤを用いて溶接した後に、太径ワイヤを用いて溶接を行なうことによって、スラグを溶融させる。つまり、厚鋼板の両面一層盛り溶接にて、細径ワイヤによる溶接と太径ワイヤによる溶接とを組み合わせることによって、溶接熱影響部の靱性を安定して向上させ、欠陥発生を抑制させることが可能となる。

【0011】

本発明は、このような知見に基づいてなされたものである。

すなわち本発明は、板厚30mm以上の鋼板の突き合わせ溶接において、上面側から仮付け溶接を行なった後に、2個以上の電極を使用するサブマージアーク溶接にて、第1電極のワイヤ径を2.4~3.2mmかつ溶接電流を1000A以上として下面側の溶接を行ない、さらに2個以上の電極を使用するサブマージアーク溶接にて、第1電極のワイヤ径を4.0~6.4mmとして上面側の溶接を行ない、鋼板の下面側の溶接入熱と上面側の溶接入熱との全電極の合計入熱を Q (kJ/cm)とし、合計入熱 Q が鋼板の板厚 t (mm)に対して下記の(3)式を満足するサブマージアーク溶接方法である。

【0012】

本発明のサブマージアーク溶接方法においては、鋼板の下面側の溶接を、第1電極の溶接電流 I_1 (A)と第2電極の溶接電流 I_2 (A)とが下記の(2)式を満足するように行なうことが好ましい。

$$\frac{t^{1.37}}{0.70} \cdot \frac{Q}{I_2 / I_1} \cdot 1.3 \times t^{1.37} \leq \dots (3)$$

$$0.70 \leq I_2 / I_1 \leq 0.95 \dots (2)$$

なお、ここでは、溶接する鋼板の両面のうち、仮付け溶接を行なう側の面を上面、その上面に対向する面を下面と記す。また、2個以上の電極を各々区別するために、溶接進行方向の先頭に配置される電極を第1電極とし、それ以降の電極を順に第2電極、第3電極等とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、サブマージアーク溶接によって厚鋼板の突き合わせ溶接を、両面一層盛り溶接で行なうにあたり、高靱性の溶接熱影響部を安定して得ることができるので、産業上格段の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明で形成される溶接継手の例を模式的に示す断面図である。

【図2】従来の突き合わせ溶接で形成される溶接継手の例を模式的に示す断面図である。

10

20

30

40

50

【図 3】鋼板の開先形状の例を模式的に示す断面図である。

【図 4】シャルピー衝撃試験片の採取位置を模式的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明を適用して鋼板の突き合わせ溶接を行なう手順について、以下に説明する。

まず、図 3 に示すように、鋼板 1 の端部に開先を加工する。図 1 中の t は鋼板 1 の板厚 (mm)、 θ は開先角度 ($^{\circ}$)、 U と V は開先深さ (mm) である。

本発明は、板厚 t が 30mm 以上の鋼板に適用するものとする。板厚が 30mm 未満の鋼板は、従来の溶接方法で形成された溶接熱影響部の靱性の評価に大きな問題はなかったもので、上記したような本発明の効果は小さい。一方、板厚が 45mm を超えると、両面一層盛り溶接が困難になることがある。したがって、鋼板の板厚 t は 30 ~ 45mm の範囲内が好ましい。

【0016】

なお、開先角度 θ 、 θ 、および開先深さ U 、 V は、図 1 に示すように溶接金属が重なり合うように形成されるように設定すれば良く、数値は特に限定しない。

開先を加工して突き合わせた鋼板の片面側から、開先の仮付け溶接を行なう。以下では、仮付け溶接を行なう側の面を上面、その上面に対向する面を下面と記す。

次に、下面側のサブマージアーク溶接を 1 パスで行ない、図 1 に示すような下面側溶接金属 2 を形成する。図 1 中の 4 は、下面側の溶融境界線である。多層、多パス溶接では、能率低下の問題が生じる。

【0017】

下面側の溶接は、2 個以上の電極を用いて行なう。電極が 1 個で溶接を行なうと、溶接速度の向上が期待できないからである。なお電極を過剰に増やすと、溶接装置の構成および溶接施工の操業管理が複雑になることから、電極は 5 個以下が好ましい。以下では、2 個以上の電極を各々区別するために、溶接進行方向の先頭に配置される電極を第 1 電極とし、それ以降の電極を順に第 2 電極、第 3 電極等と記す。

【0018】

下面側の溶接では、第 1 電極にてワイヤ径 2.4 ~ 3.2mm の細径ワイヤを使用する。第 1 電極のワイヤ径が 2.4mm 未満では、ワイヤ送給速度が速くなりすぎて、大電流が適用できず、深い溶込みが得られない。一方、3.2mm を超えると、角 2 が大きくなるような下面側溶接金属 2 を形成できないので、靱性が劣化する。

第 2 電極以降のワイヤ径は、特に限定しない。ただし、ワイヤ径を 3.2mm 以上とすれば、安定して溶接を行なうことができるので好ましい。より好ましくは 3.2 ~ 4.8mm である。

【0019】

また第 1 電極の溶接電流 I_1 は、1000 A 以上とする。溶接電流 I_1 が 1000 A 未満では、十分な溶込み深さが得られず、図 1 に示すように溶接金属を重なり合わせることが困難になる。一方、1400 A を超えると、ワイヤ送給速度が速くなりすぎて、ワイヤの安定送給が困難になる。したがって、第 1 電極の溶接電流 I_1 は 1000 ~ 1400 A の範囲内が好ましい。

第 2 電極以降の溶接電流は、特に限定しない。ただし第 2 電極の溶接電流を I_2 (A) として、 I_2 / I_1 が (2) 式を満足することが好ましい。 I_2 / I_1 が 0.70 未満では、溶接が安定せず、その結果、ビード幅が不安定になり、下面側溶接金属 2 や溶融境界線 4 の形状を制御し難くなることがある。一方、0.95 を超えると、余盛り高さが大きくなり、下面側溶接金属 2 や溶融境界線 4 の形状を制御し難くなることがある。

$$0.70 \leq I_2 / I_1 \leq 0.95 \quad \cdots (2)$$

このようにして下面側の溶接を行なうことによって、角度 2 の大きい下面側溶接金属 2 を形成することができる。しかし細径ワイヤを使用することによって、下面側溶接金属 2 の最深奥部にスラグ巻き込みが発生することがある。

【0020】

そこで、次に、太径ワイヤを用いて上面側のサブマージアーク溶接を行なうことによって、図 1 に示すように、下面側溶接金属 2 に重なり合わせて上面側溶接金属 3 を形成し、スラグを溶融し、溶接欠陥の抑制を図る。

上面側の溶接は、2個以上の電極を用いて行なう。電極が1個で溶接を行なうと、溶接速度の向上が期待できないからである。電極は5個以下が好ましいが、その理由は上記と同じである。

【0021】

上面側の溶接では、第1電極にてワイヤ径4.0～6.4mmの太径ワイヤを使用する。第1電極のワイヤ径が4.0mm未満では、下面側溶接金属2内のスラグを溶融し難いばかりでなく、上面側溶接金属3の最深奥部にスラグが溜まる恐れがある。なおサブマージアーク溶接では、通常はワイヤ径は6.4mmまでである。

第2電極以降のワイヤ径は、特に限定しない。

【0022】

サブマージアーク溶接の溶接入熱は、下面側と上面側の全電極の合計入熱 Q (kJ/cm)が、鋼板の板厚 t に対して下記の(3)式を満足することが必要となる。 Q が $1.3 \times t^{1.37}$ kJ/cmを超えると、溶接入熱が大きすぎて溶接熱影響部の靱性が劣化することがある。一方、 $t^{1.37}$ kJ/cm未満では、十分な溶込み深さを確保し難くなる。そのため、下記の(3)式を満足させる。

$$Q \leq 1.3 \times t^{1.37} \quad \dots (1)$$

$$t \leq \sqrt[1.37]{Q / 1.3} \quad \dots (3)$$

以上に説明した通り、本発明によれば、溶接熱影響部の靱性を向上することができる。しかも、下面側溶接金属の溶融境界線を傾けることができるので、図4に示すように、シャルピー衝撃試験片を採取した場合に、試験片のノッチが下面側の溶融境界線と交差するようになる。また、下面側と上面側の溶融境界線の交点近傍では、上面側の溶融境界線も傾いているので、試験片のノッチと交差する。その結果、試験片の採取位置の変動や溶融境界線の形状の変化が靱性の評価に及ぼす影響を大幅に抑えることができ、安定した靱性が得られる。

【0023】

本発明で使用するワイヤについては、ソリッドワイヤ、コアードワイヤいずれも使用できる。

【実施例】

【0024】

表1に示す成分を有する2種類の鋼板(板厚 t : 31.8mm, 38.1mm)に、図3に示すような形状の開先を形成した後、下面側のサブマージアーク溶接(1パス)を行ない、次いで上面側のサブマージアーク溶接(1パス)を行なった。

【0025】

【表1】

| 板厚 (mm) | 成分(質量%) | | | | | | | | | |
|------------|---------|------|-----|------|-------|------|------|------|------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | Nb |
| 31.8 | 0.05 | 0.15 | 1.5 | 0.01 | 0.002 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.15 | 0.03 |
| 38.1 | 0.05 | 0.15 | 1.6 | 0.01 | 0.001 | 0.26 | 0.20 | 0.22 | 0.10 | 0.03 |

【0026】

鋼板1の開先形状を表2に示す。表2中の下面の開先角度は図3に示す角 θ (°)、上面の開先角度は図3に示す角 ϕ (°)である。また、表2中の下面の開先深さは図3に示す V (mm)、上面の開先深さは図3に示す U (mm)である。

【0027】

【表 2】

| 溶接 記号 | 板厚 (mm) | 下面／ 上面 | 開先 角度 (°) | 開先 深さ (mm) |
|----------|------------|-----------|-----------------|------------------|
| 1 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 2 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 3 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 4 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 5 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 6 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 7 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 8 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 9 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 10 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 11 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 12 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 13 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 14 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 15 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 16 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |
| 17 | 31.8 | 下面 | 70 | 12.0 |
| | | 上面 | 70 | 12.0 |
| 18 | 38.1 | 下面 | 60 | 14.0 |
| | | 上面 | 60 | 14.0 |

10

20

30

【0028】

サブマージアーク溶接の条件を表3～6に示す。表3、4に示すように、溶接記号9は上面溶接、下面溶接ともに3電極（1パス）、溶接記号10は上面溶接、下面溶接ともに5電極（1パス）で溶接を行ない、その他は全て4電極（1パス）で溶接を行なった。表5、6に示す電流は、いずれも第1電極を直流とし、第2電極以降を交流とした。表5、6中の極間距離は、鋼板1表面（下面または上面）におけるワイヤ先端の間隔（mm）である。母材－電極間距離は、鋼板1表面（下面または上面）とコンタクトチップ下面との間隔（mm）である。電極角度は、前進角（°）を正、後退角（°）を負として示す。ここで前進角は、ワイヤ先端がトーチよりも溶接進行方向の前方に位置するようにワイヤを傾斜させて、鋼板に垂直な線とワイヤとのなす角であり、後退角は、ワイヤ先端がトーチよりも溶接進行方向の後方に位置するようにワイヤを傾斜させて、鋼板に垂直な線とワイヤとのなす角である。

40

【0029】

【表 3】

| 溶接 記号 | 下面/ 上面 | # 1 | | | # 2 | | | # 3 | | | # 4 | | | # 5 | | | 溶接速度 (cm/分) | 溶接入熱 (kJ/cm) |
|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|----------------|-----------------|
| | | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | | |
| 1 | 下面 | 1200 | 32 | 2.4 | 870 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | 110 | 72.2 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 4.0 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | 115 | 79.1 |
| 2 | 下面 | 1250 | 34 | 3.2 | 1180 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | 105 | 90.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 6.4 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | 110 | 102.3 |
| 3 | 下面 | 1200 | 32 | 2.4 | 820 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | 115 | 68.0 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 4.0 | 950 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | 125 | 71.9 |
| 4 | 下面 | 1250 | 34 | 3.2 | 860 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | 105 | 83.2 |
| | 上面 | 1450 | 38 | 4.8 | 1000 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | 120 | 88.6 |
| 5 | 下面 | 1200 | 32 | 2.4 | 1150 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | 120 | 71.8 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 4.0 | 1330 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | 130 | 75.6 |
| 6 | 下面 | 1250 | 34 | 3.2 | 1200 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | 105 | 90.8 |
| | 上面 | 1450 | 38 | 4.8 | 1400 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | 120 | 96.2 |
| 7 | 下面 | 1200 | 32 | 2.4 | 870 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | 115 | 69.1 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 4.0 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | 125 | 72.8 |
| 8 | 下面 | 1250 | 34 | 3.2 | 1180 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | 105 | 90.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 4.8 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | 120 | 93.8 |
| 9 | 下面 | 1250 | 37 | 2.4 * | 1100 | 42 | 4.0 | 950 | 45 | 4.0 | — | — | — | — | — | — | 125 | 64.9 |
| | 上面 | 1400 | 45 | 4.0 * | 1200 | 48 | 4.0 | 1000 | 48 | 4.0 | — | — | — | — | — | — | 125 | 80.9 |
| 10 | 下面 | 1300 | 33 | 3.2 * | 1120 | 37 | 3.2 | 960 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | 640 | 40 | 4.0 | 115 | 93.2 |
| | 上面 | 1450 | 35 | 4.8 * | 1200 | 37 | 4.8 | 1000 | 40 | 4.0 | 800 | 40 | 4.0 | 600 | 40 | 4.0 | 120 | 95.6 |

* : コアードワイヤを使用した

1 ~ # 5 : 第1電極 ~ 第5電極

10

20

30

40

【表 4】

| 溶接 記号 | 下面/ 上面 | # 1 | | | # 2 | | | # 3 | | | # 4 | | | # 5 | | | 溶接速度 (cm/分) | 溶接入熱 (kJ/cm) |
|----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|----------------|-----------------|
| | | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | 電圧 (V) | ワイヤ径 (mm) | 電流 (A) | | |
| 11 | 下面 | 1200 | 32 | 870 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | — | 115 | 69.1 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | — | 125 | 72.8 |
| 12 | 下面 | 1250 | 34 | 1180 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 105 | 90.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 120 | 93.8 |
| 13 | 下面 | 1200 | 32 | 870 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | — | 115 | 69.1 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | — | 125 | 72.8 |
| 14 | 下面 | 1250 | 34 | 1180 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 105 | 90.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 120 | 93.8 |
| 15 | 下面 | 980 | 32 | 800 | 40 | 4.0 | 620 | 42 | 4.0 | 500 | 44 | 4.0 | — | — | — | — | 90 | 74.3 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | — | 125 | 72.8 |
| 16 | 下面 | 980 | 34 | 800 | 38 | 4.0 | 650 | 40 | 4.0 | 500 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 85 | 77.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 115 | 97.8 |
| 17 | 下面 | 1200 | 32 | 870 | 40 | 4.0 | 750 | 42 | 4.0 | 630 | 44 | 4.0 | — | — | — | — | 115 | 69.1 |
| | 上面 | 1380 | 35 | 1000 | 37 | 4.0 | 900 | 39 | 4.0 | 800 | 39 | 4.0 | — | — | — | — | 125 | 72.8 |
| 18 | 下面 | 1250 | 34 | 1180 | 39 | 4.0 | 960 | 40 | 4.0 | 780 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 105 | 90.4 |
| | 上面 | 1450 | 36 | 1350 | 38 | 4.8 | 1150 | 40 | 4.0 | 950 | 40 | 4.0 | — | — | — | — | 120 | 93.8 |

* : コアードワイヤを使用した
 # 1 ~ # 5 : 第 1 電極 ~ 第 5 電極

【表 5】

| 溶接 記号 | 下面/ 上面 | 極間距離 (mm) | | | | | 母材-電極間距離 (mm) | | | | | 電極角度 (°) | | | | |
|----------|-----------|-----------|------|------|------|--|---------------|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|
| | | #1~2 | #2~3 | #3~4 | #4~5 | | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 |
| 1 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 12 | 24 | 36 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 12 | 24 | 36 | — |
| 2 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 12 | 24 | 36 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 12 | 24 | 36 | — |
| 3 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 28 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 28 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 4 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 28 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 28 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 5 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 28 | 28 | 30 | 30 | — | -5 | 5 | 20 | 40 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 28 | 28 | 30 | 30 | — | -5 | 5 | 20 | 40 | — |
| 6 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 28 | 28 | 30 | 30 | — | -5 | 5 | 20 | 40 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 28 | 28 | 30 | 30 | — | -5 | 5 | 20 | 40 | — |
| 7 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 28 | 28 | 28 | 28 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 28 | 28 | 28 | 28 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| 8 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 28 | 28 | 28 | 28 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 28 | 28 | 28 | 28 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| 9 | 下面 | 18 | 14 | — | — | | 25 | 30 | 30 | — | — | -5 | 5 | 18 | — | — |
| | 上面 | 20 | 18 | — | — | | 25 | 30 | 30 | — | — | -5 | 5 | 18 | — | — |
| 10 | 下面 | 16 | 12 | 12 | 12 | | 25 | 30 | 30 | 30 | 30 | -5 | 5 | 18 | 30 | 45 |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | 16 | | 25 | 30 | 30 | 30 | 30 | -5 | 5 | 18 | 30 | 45 |

電極角度は正が前進角、負が後退角を示す

【表 6】

| 溶接 記号 | 下面/ 上面 | 極間距離 (mm) | | | | | 母材-電極間距離 (mm) | | | | | 電極角度 (°) | | | | |
|----------|-----------|-----------|------|------|------|--|---------------|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|
| | | #1~2 | #2~3 | #3~4 | #4~5 | | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 |
| 11 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 12 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 13 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 14 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 15 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 32 | 32 | 32 | 32 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 16 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 32 | 32 | 32 | 32 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 40 | — |
| 17 | 下面 | 18 | 14 | 14 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| | 上面 | 20 | 18 | 18 | — | | 25 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| 18 | 下面 | 16 | 12 | 12 | — | | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |
| | 上面 | 18 | 16 | 16 | — | | 25 | 30 | 30 | 30 | — | 0 | 13 | 25 | 45 | — |

電極角度は正が前進角、負が後退角を示す

これらの各条件（溶接記号 1～18）で溶接を行なった後、作製した溶接継手の定常部にビード幅を確認して、その最大値と最小値を測定し、その差を求めてビード幅の安定性を評価した。その結果を表 7 に示す。

さらに X 線撮影によって、溶接金属のスラグ巻き込みの有無、溶込み不良の有無を調査した。その結果を表 7 に示す。

【 0 0 3 4 】

また各条件の溶接によって、それぞれ 5 個ずつ溶接継手を作製し、図 4 に示す試験片採取位置 6 からシャルピー衝撃試験片および断面マクロ試験片を採取した。

シャルピー衝撃試験片は、J I S 規格 Z3111 に規定する 4 号試験片として、各溶接継手から 20 個ずつ（すなわち各溶接記号ごとに 100 個ずつ）採取した。シャルピー衝撃試験片は、ノッチが板厚方向に平行となり、かつ溶融境界線の交点を含む面（鋼板 1 表面に平行な面）が試験片の板厚方向中央となるように採取した。そのノッチの位置は、ノッチ底における溶接金属と溶接熱影響部の比率が 50 % ずつとなる位置とした。

10

【 0 0 3 5 】

シャルピー衝撃試験は、J I S 規格 Z2242 に準拠（試験温度： - 30 ）して行ない、吸収エネルギー $_{\text{V}}E_{-30}$ （J）を測定した。その結果を表 7 に示す。なお、表 7 中の吸収エネルギー $_{\text{V}}E_{-30}$ は、各溶接記号ごとに 100 回のシャルピー衝撃試験で得られた測定値のうち最も低い値を示す。

断面マクロ試験片は、各溶接継手から 3 個ずつ（すなわち各溶接記号ごとに 15 個ずつ）採取した。それぞれの断面マクロ試験片から余盛り高さ（mm）を測定した結果を表 7 に示す。なお、表 7 中の余盛り高さは、各溶接記号ごとに 15 個の試験片の測定値の平均値を示す。

20

【 0 0 3 6 】

【表 7】

| 溶接 記号 | vE ₋₃₀ (J) | 欠陥 | 下面／ 上面 | ビード幅 最大値－最小値 (mm) | 余盛り高さ (mm) | 備考 |
|----------|--------------------------|---------|-----------|-------------------------|---------------|-----|
| 1 | 89 | なし | 下面 | 2.4 | 2.7 | 参考例 |
| | | | 上面 | 2.7 | 2.9 | |
| 2 | 74 | なし | 下面 | 2.2 | 2.6 | 参考例 |
| | | | 上面 | 2.6 | 2.3 | |
| 3 | 121 | なし | 下面 | 3.7 | 1.4 | 発明例 |
| | | | 上面 | 3.4 | 1.9 | |
| 4 | 107 | なし | 下面 | 4.1 | 1.7 | 発明例 |
| | | | 上面 | 3.6 | 2.2 | |
| 5 | 134 | なし | 下面 | 2.4 | 3.7 | 発明例 |
| | | | 上面 | 2.5 | 3.2 | |
| 6 | 112 | なし | 下面 | 2.2 | 3.6 | 発明例 |
| | | | 上面 | 2.8 | 3.3 | |
| 7 | 165 | なし | 下面 | 1.6 | 0.7 | 発明例 |
| | | | 上面 | 1.9 | 0.5 | |
| 8 | 144 | なし | 下面 | 1.5 | 1.3 | 発明例 |
| | | | 上面 | 2.2 | 1.2 | |
| 9 | 109 | なし | 下面 | 1.7 | 1.0 | 発明例 |
| | | | 上面 | 2.5 | 1.2 | |
| 10 | 130 | なし | 下面 | 2.9 | 2.7 | 発明例 |
| | | | 上面 | 2.8 | 2.3 | |
| 11 | 151 | なし | 下面 | 3.4 | 2.4 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.1 | 2.5 | |
| 12 | 147 | なし | 下面 | 3.5 | 2.8 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.4 | 1.5 | |
| 13 | 38 | なし | 下面 | 2.8 | 1.4 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.4 | 0.9 | |
| 14 | 40 | なし | 下面 | 2.5 | 1.6 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.1 | 1.2 | |
| 15 | 145 | 溶込み不足 | 下面 | 2.1 | 1.2 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.2 | 1.7 | |
| 16 | 138 | 溶込み不足 | 下面 | 2.6 | 1.5 | 比較例 |
| | | | 上面 | 1.8 | 1.0 | |
| 17 | 109 | スラグ巻き込み | 下面 | 2.6 | 2.5 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.4 | 2.2 | |
| 18 | 131 | スラグ巻き込み | 下面 | 2.2 | 2.3 | 比較例 |
| | | | 上面 | 2.0 | 1.6 | |

【0037】

溶接記号 1、2 は参考例、溶接記号 3～10 は発明例である。溶接記号 1、2 は、下面溶接の第 1 電極のワイヤ径を 2.4～3.2mm かつ第 1 電極の溶接電流を 1000 A 以上とし、上面溶接の第 1 電極のワイヤ径を 4.0～6.4mm とする例であり、安定して優れた靱性が得られ、同時に良好な溶接部品質が得られた。溶接記号 3～6 は、さらに、下面側と上面側の溶接入熱の合計が(3)式を満足するように設定した例であり、100 J 以上の極めて高い吸収エネルギーが得られた。また溶接記号 7～10 は、さらに、下面側の溶接にて第 1 電極と第 2 電極の溶接電流が(2)式を満足するように設定した例であり、ビードの余盛り高さを 3 mm 以下、ビード幅の最大値と最小値の差を 3 mm 以下に抑えることができ、優れた形状のビードが得られた。

【 0 0 3 8 】

溶接記号11～18は比較例である。溶接記号11、12は、下面溶接の第1電極のワイヤ径を2.4mm未満であるから、1000 A以上の高い溶接電流を設定したため、安定した溶接ができず、ビード幅が安定しない。溶接記号13、14は、下面側の溶接にて第1電極のワイヤ径が3.2mmを超えるので、吸収エネルギーが小さかった。溶接記号15、16は、下面溶接の第1電極の溶接電流が1000 A未満であるから、溶込み不良が発生した。溶接記号17、18は、上面溶接の第1電極のワイヤ径が4.0mm未満であり、スラグ巻き込みが発生した。

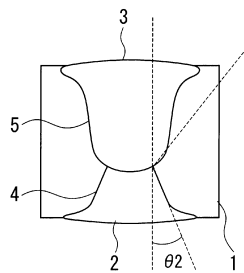
【 符号の説明 】

【 0 0 3 9 】

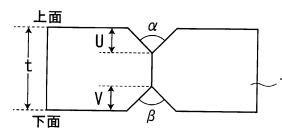
- 1 鋼板
- 2 下面側溶接金属
- 3 上面側溶接金属
- 4 下面側の溶融境界線
- 5 上面側の溶融境界線
- 6 試験片採取位置

10

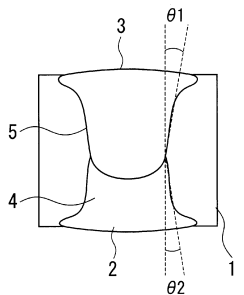
【 図 1 】



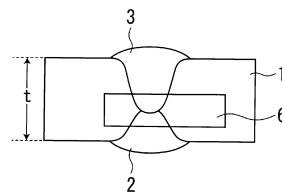
【 図 3 】



【 図 2 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-260692(JP,A)
特開2003-136130(JP,A)
特開2010-274276(JP,A)
特開2011-131258(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0325362(US,A1)
米国特許出願公開第2009/0173727(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

| | |
|------|-------|
| B23K | 9/18 |
| B23K | 9/02 |
| B23K | 9/235 |