

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5538181号
(P5538181)

(45) 発行日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月9日(2014.5.9)

(51) Int.Cl.

F 1

B23K	9/095	(2006.01)	B 23 K	9/095	510 E
B23K	9/12	(2006.01)	B 23 K	9/12	350 G
B23K	9/127	(2006.01)	B 23 K	9/127	507 C

B 23 K 9/095 505 B
B 23 K 9/127 510 C

請求項の数 5 (全 22 頁)

(21) 出願番号

特願2010-240089 (P2010-240089)

(22) 出願日

平成22年10月26日 (2010.10.26)

(65) 公開番号

特開2012-91197 (P2012-91197A)

(43) 公開日

平成24年5月17日 (2012.5.17)

審査請求日

平成25年6月6日 (2013.6.6)

(73) 特許権者 000000974

川崎重工業株式会社

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号

(74) 代理人 110000556

特許業務法人 有古特許事務所

(72) 発明者 青木 篤人

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川重テクノロジー株式会社内

(72) 発明者 武市 正次

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川重テクノロジー株式会社内

(72) 発明者 濑渡 賢

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】アーク溶接の制御システムおよび制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

溶接トーチを溶接対象であるワークの開先の幅方向に所定のウェービング幅で周期的に移動させつつ前記ワークの溶接線方向に所定のトーチ高さで前記溶接トーチを移動させて前記ワークの溶接線を倣わせるアクチュエータと、溶接電流またはアーク電圧を検出するセンサとを備え、前記ワークの開先に良好なビードを形成するためのアーク溶接のアークセンサ制御システムであって、

前記溶接電流またはアーク電圧からウェービングの端部における前記溶接トーチと前記ワークとの水平距離を示す開先壁距離に相当する値および前記トーチ高さに相当する値をそれぞれ取得し、それぞれの目標値との差をそれぞれ演算し、前記開先壁距離に相当する値のその目標値からの偏差（以下、開先壁距離偏差という）と前記トーチ高さに相当する値のその目標値からの偏差（以下、トーチ高さ偏差という）とから前記アクチュエータの前記ウェービング幅に関する操作量を演算するとともに、前記開先壁距離偏差と前記トーチ高さ偏差とから前記アクチュエータの前記トーチ高さに関する操作量を演算する演算器と、

前記ウェービング幅に関する操作量および前記トーチ高さに関する操作量に基づいて前記ウェービング幅および前記トーチ高さをそれぞれ制御する制御器と、を有し、

前記ウェービング幅の操作量および前記トーチ高さの操作量に対し、それぞれ前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差が影響する比率（以下、影響比率という）が前記ワークの開先角度に応じて設定されており、

前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差の影響比率は、前記開先角度が大きいほど前記開先壁距離偏差の影響比率に対し前記トーチ高さ偏差の影響比率が相対的に大きくなるように設定されている、アーク溶接のアークセンサ制御システム。

【請求項 2】

前記操作量は、前記影響比率に当該影響比率を調整する調整係数が掛けられている、請求項 1 に記載のアーク溶接の制御システム。

【請求項 3】

前記トーチ高さの操作量 z は、次式(1)で表され、前記ウェーピング幅の操作量 w は、次式(2)で表される、請求項 2 に記載のアーク溶接の制御システム。

【数 1】

10

$$\Delta z = K_z \left(-\frac{\Delta P_d}{t} + 2K_h \Delta P_h \right) \quad \dots (1)$$

【数 2】

$$\Delta w = 4K_w (-\Delta P_d + tK_h \Delta P_h) \quad \dots (2)$$

ここで、 K_z 、 K_w は、トーチ高さに関する操作量およびウェーピング幅に関する操作量の各ゲインを示し、 P_d は、開先壁距離偏差を示し、 P_h は、トーチ高さ偏差を示し、 t は、開先角度 を用いて $t = t \tan(\theta / 2)$ で表される値を示し、 K_h は、調整係数を示す。

20

【請求項 4】

前記演算器は、ウェーピングの 1 周期が予め定められた数で分割された複数の区間ごとに、前記センサから検出される前記溶接電流またはアーク電圧の平均値を算出し、前記複数の区間のうち、ウェーピングの端部に対応する 1 または複数の区間の平均値に基づいて前記開先壁距離に相当する値を取得し、ウェーピングの 1 周期分の前記溶接電流またはアーク電圧の平均値に基づいて前記トーチ高さに相当する値を取得する、請求項 1 に記載のアーク溶接の制御システム。

30

【請求項 5】

溶接トーチを溶接対象であるワークの開先の幅方向に所定のウェーピング幅で周期的に移動させつつ前記ワークの溶接線方向に所定のトーチ高さで前記溶接トーチを移動させて前記ワークの溶接線を倣わせるアクチュエータと、溶接電流またはアーク電圧を検出するセンサとを備え、前記ワークの開先にビードを形成するためのアーク溶接のアークセンサ制御方法であって、

40

前記溶接電流またはアーク電圧を検出するステップと、

前記溶接電流またはアーク電圧からウェーピングの端部における前記溶接トーチと前記ワークとの水平距離を示す開先壁距離に相当する値および前記トーチ高さに相当する値をそれぞれ取得し、それぞれの目標値との差をそれぞれ演算するステップと、

40

前記開先壁距離に相当する値のその目標値からの偏差（以下、開先壁距離偏差という）と前記トーチ高さに相当する値のその目標値からの偏差（以下、トーチ高さ偏差という）とから前記アクチュエータの前記ウェーピング幅に関する操作量を演算するとともに、前記開先壁距離偏差と前記トーチ高さ偏差とから前記アクチュエータの前記トーチ高さに関する操作量を演算するステップと、

前記ウェーピング幅に関する操作量および前記トーチ高さに関する操作量に基づいて前記ウェーピング幅および前記トーチ高さをそれぞれ制御するステップと、を含み、

前記ウェーピング幅の操作量および前記トーチ高さの操作量に対し、それぞれ前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差が影響する比率（以下、影響比率という）が前記ワークの開先角度に応じて設定されており、

50

前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差の影響比率は、前記開先角度が大きいほど前記開先壁距離偏差の影響比率に対し前記トーチ高さ偏差の影響比率が相対的に大きくなるように設定されている、アーク溶接の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、アークの電流または電圧に応じて溶接トーチを位置制御するためのアーク溶接の制御システムおよび制御方法に関する。 10

【背景技術】

【0002】

溶接対象であるワークに対してワークの溶接線に沿って溶接トーチを自動的に倣わせながらアーク溶接を行う技術が知られている。このような自動アーク溶接装置において、溶接トーチをワークの開先の幅方向に所定のウィービング幅および所定のトーチ高さで周期的に移動させつつワークの溶接線方向に沿ってビードが形成されるように移動させる制御を行う必要がある。このような制御においては、溶接トーチとワークの溶接線との相対的な位置関係を把握する必要がある。例えば、溶接トーチにレーザセンサ等の位置センサを設けることも考えられるが、高価であるし、狭隘部を溶接する場合には位置センサが邪魔となる場合がある。 20

【0003】

そこで、溶接アークの特性を利用して溶接トーチ周りに付加装置の不要なアークセンサを用いた溶接では、溶接トーチの先端に突出された電極とワークとの間で発生するアークの溶接電流やアーク電圧を検出し、電極の先端とワークとの距離を演算することにより溶接トーチの位置を把握している。具体的には、ウィービングの両端での溶接電流値またはアーク電圧値を比較することにより溶接線倣いを制御することができ、ウィービング中の溶接電流値またはアーク電圧値を目標値と比較することによりトーチ高さの制御を行うことができる。 20

【0004】

さらに、ワークの開先幅に対して適切なウィービング幅を得るためにウィービング幅を制御する方法も知られている（例えば、特許文献1参照）。この場合、ウィービングの端部における溶接電流値またはアーク電圧値を目標値と比較してウィービング幅を増減する制御が行われる。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特公平4-70117号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記特許文献1の方法においては、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とは独立して行われている。しかしながら、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とは互いに影響しあうものであるため、それぞれの制御において最適化しようとすると、以下のような不都合が生じる。 40

【0007】

図11は従来のアークセンサウィービング幅制御における不都合を説明するための模式図である。図11(a)に示されるような初期ウィービング幅 w_0 およびトーチ高さ z_0 である場合に、ウィービング幅 w の端部とワークとの水平距離(壁距離)が目標値 d_{ref} となるようにウィービング幅 w を広げる制御を行うとともに、トーチ高さ z が目標値 z_{ref} となるようにトーチ高さ z を低くする制御を行うと、図11(b)に示されるように、トーチ高さが低くなることによりウィービング幅の端部とワークとの水平距離も短く 50

なるため、ウィービング幅 w が目標トーチ高さ z_{ref} における目標ウィービング幅 w_t より大きくなってしまう。一般に、ウィービング幅およびトーチ高さの制御は所定の制御サイクルごとに少しづつ変化させる。従って、ウィービング幅 w に関して言えば、図 11 (c) の破線で示すように、初期ウィービング幅 w_0 から制御サイクルを繰り返すほど目標ウィービング幅 w_t に漸近して行くのが望ましい。しかしながら、上記従来の構成においては、初期ウィービング幅 w_0 に対して本来であれば目標ウィービング幅 w_t に近づけるためにウィービング幅 w を狭める制御を行う必要があるにも拘らずウィービング幅 w を広げる制御を行ってしまうため、図 11 (c) の実線で示すように、目標値に対し反対方向に動作したり、目標値で安定するまでに時間がかかることとなる。

【0008】

10

このように、ウィービング幅の制御およびトーチ高さの制御のそれぞれの制御において個別に最適な制御を行うと、結果として溶接トーチとワークとの水平距離が近づき過ぎ、溶接欠陥になったり、溶接トーチとワークとが接触したりする問題が生じ得る。従って、このような従来の方法において、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを独立して行いつつ溶接欠陥等の問題を生じさせないためには、それぞれの制御においてゲインを下げる他なく、高性能な制御を行うことができない。

【0009】

また、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とをウィービングの周期に応じて交互に行うことも可能である。すなわち、この方法においてはウィービング幅の制御を行う際にはトーチ高さの制御は行わず、トーチ高さの制御を行う際にはウィービング幅の制御は行わないことも可能である。このようにすれば、溶接欠陥等の問題は生じないが、それぞれの制御において当該制御を行わない期間が存在することとなるため、結果的にゲインが半減してしまい、高性能な制御を行うことができない。

20

【0010】

本発明は、以上のような課題を解決すべくなされたものであり、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うことができるアーク溶接の制御システムおよび制御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】

【0011】

30

本発明に係るアーク溶接の制御システムは、溶接トーチを溶接対象であるワークの開先の幅方向に所定のウィービング幅で周期的に移動させつつ前記ワークの溶接線方向に所定のトーチ高さで前記溶接トーチを移動させて前記ワークの溶接線を倣わせるアクチュエータと、溶接電流またはアーク電圧を検出するセンサとを備え、前記ワークの開先に良好なビードを形成するためのアーク溶接のアークセンサ制御システムであって、前記溶接電流またはアーク電圧からウィービングの端部における前記溶接トーチと前記ワークとの水平距離を示す開先壁距離に相当する値および前記トーチ高さに相当する値をそれぞれ取得し、それぞれの目標値との差をそれぞれ演算し、前記開先壁距離に相当する値のその目標値からの偏差（以下、開先壁距離偏差という）と前記トーチ高さに相当する値のその目標値からの偏差（以下、トーチ高さ偏差という）とから前記アクチュエータの前記ウィービング幅に関する操作量を演算するとともに、前記開先壁距離偏差と前記トーチ高さ偏差とから前記アクチュエータの前記トーチ高さに関する操作量を演算する演算器と、前記ウィービング幅に関する操作量および前記トーチ高さに関する操作量に基づいて前記ウィービング幅および前記トーチ高さをそれぞれ制御する制御器と、を有し、前記ウィービング幅の操作量および前記トーチ高さの操作量に対し、それぞれ前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差が影響する比率（以下、影響比率という）が前記ワークの開先角度に応じて設定されており、前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差の影響比率は、前記開先角度が大きいほど前記開先壁距離偏差の影響比率に対し前記トーチ高さ偏差の影響比率が相対的に大きくなるように設定されているよう構成されている。

40

【0012】

上記構成によれば、溶接トーチを溶接線に倣わせる際に、センサで検出された溶接電流

50

またはアーク電圧の値から取得された開先壁距離に相当する値およびトーチ高さに相当する値の両方を用いてウィーピング幅に関する水平アクチュエータの操作量およびトーチ高さに関する鉛直アクチュエータの操作量がそれぞれ演算される。しかも、各操作量における開先壁距離偏差およびトーチ高さ偏差に関するパラメータに掛けられた影響比率（重み係数）がワークの開先角度に応じて設定されている。そして、発明者らは鋭意研究の末、いずれの操作量においてもワークの開先角度が大きいほどトーチ高さ偏差の影響比率が開先壁距離偏差の影響比率より相対的に大きくなるように設定することでゲインを下げるこなくウィーピング幅とトーチ高さとを迅速かつ最適に制御することができるという知見を得たものである。従って、上記構成を有することによりウィーピング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うことができる。

10

【0013】

前記操作量は、前記影響比率に当該影響比率を調整する調整係数が掛けられていてよい。これにより、同じ開先角度であってもワークの種類や使用用途に応じてより好適な制御性能に調整することができる。

【0014】

さらに、前記トーチ高さの操作量 z は、次式(1)で表され、前記ウィーピング幅の操作量 w は、次式(2)で表されるものでもよい。

【0015】

【数1】

$$\Delta z = K_z \left(-\frac{\Delta P_d}{t} + 2K_h \Delta P_h \right) \quad \dots \quad (1)$$

20

【0016】

【数2】

$$\Delta w = 4K_w \left(-\Delta P_d + iK_h \Delta P_h \right) \quad \dots \quad (2)$$

ここで、 K_z 、 K_w は、鉛直アクチュエータの操作量および水平アクチュエータの操作量の各ゲインを示し、 P_d は、開先壁距離偏差を示し、 P_h は、トーチ高さ偏差を示し、 t は、開先角度 を用いて $t = \tan(\theta / 2)$ で表される値を示し、 K_h は、調整係数を示す。

30

【0017】

これによれば、トーチ高さの操作量におけるトーチ高さ偏差による影響比率がウィーピング幅の操作量におけるよりも大きくなるため、トーチ高さ偏差をより反映させて制御することができる。

【0018】

また、前記演算器は、ウィーピングの1周期が予め定められた数で分割された複数の区間ごとに、前記センサから検出される前記溶接電流またはアーク電圧の平均値を算出し、前記複数の区間のうち、ウィーピングの端部に対応する1または複数の区間の平均値に基づいて前記開先壁距離に相当する値を取得し、ウィーピングの1周期分の前記溶接電流またはアーク電圧の平均値に基づいて前記トーチ高さに相当する値を取得することとしてもよい。このように、溶接電流またはアーク電圧をウィーピング周期に応じて区分けすることによって溶接トーチの各位置におけるアークの電流または電圧を簡便に演算することができる。

40

【0019】

また、本発明に係るアーク溶接のアークセンサ制御方法は、溶接トーチを溶接対象であるワークの開先の幅方向に所定のウィーピング幅で周期的に移動させつつ前記ワークの溶接線方向に所定のトーチ高さで前記溶接トーチを移動させて前記ワークの溶接線を倣わせるアクチュエータと、溶接電流またはアーク電圧を検出するセンサとを備え、前記ワークの開先にビードを形成するためのアーク溶接のアークセンサ制御方法であって、前記溶接

50

電流またはアーク電圧を検出するステップと、前記溶接電流またはアーク電圧からウィービングの端部における前記溶接トーチと前記ワークとの水平距離を示す開先壁距離に相当する値および前記トーチ高さに相当する値をそれぞれ取得し、それぞれの目標値との差をそれぞれ演算するステップと、前記開先壁距離に相当する値のその目標値からの偏差（以下、開先壁距離偏差という）と前記トーチ高さに相当する値のその目標値からの偏差（以下、トーチ高さ偏差という）とから前記アクチュエータの前記ウィービング幅に関する操作量を演算するとともに、前記開先壁距離偏差と前記トーチ高さ偏差とから前記アクチュエータの前記トーチ高さに関する操作量を演算するステップと、前記ウィービング幅に関する操作量および前記トーチ高さに関する操作量に基づいて前記ウィービング幅および前記トーチ高さをそれぞれ制御するステップと、を含み、前記ウィービング幅の操作量および前記トーチ高さの操作量に対し、それぞれ前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差が影響する比率（以下、影響比率という）が前記ワークの開先角度に応じて設定されており、前記開先壁距離偏差および前記トーチ高さ偏差の影響比率は、前記開先角度が大きいほど前記開先壁距離偏差の影響比率に対し前記トーチ高さ偏差の影響比率が相対的に大きくなるように設定されているものである。10

【0020】

上記方法によれば、溶接トーチを溶接線に倣わせる際に、センサで検出された溶接電流またはアーク電圧の値から取得された開先壁距離に相当する値およびトーチ高さに相当する値の両方を用いてウィービング幅の操作量およびトーチ高さの操作量がそれぞれ演算される。しかも、各操作量における開先壁距離偏差およびトーチ高さ偏差に関するパラメータの影響比率（重み係数）がワークの開先角度に応じて設定されている。そして、発明者らは鋭意研究の末、いずれの操作量においてもワークの開先角度が大きいほどトーチ高さ偏差の影響比率が開先壁距離偏差の影響比率に対し相対的に大きくなるように設定することでゲインを下げることなくウィービング幅とトーチ高さとを迅速かつ最適に制御することができるという知見を得たものである。従って、上記方法を用いて制御することによりウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うことができる。20

【発明の効果】

【0021】

本発明は以上に説明したように構成され、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うことができるという効果を奏する。30

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施形態に係るアーク溶接の制御システムの概略構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す溶接システムの溶接トーチとワークとの位置関係をモデル化した幾何形状モデルを示す図である。

【図3】図1に示す溶接システムの制御モデルを示すブロック線図である。

【図4】図1に示す溶接システムの溶接トーチの軌跡およびそれに対応するアーク電圧変化を示す図である。

【図5】図1に示す溶接システムの溶接トーチ制御を概念的に示す模式図である。

【図6】本実施例1において用いたワークの形状を示す図である。

【図7】実施例1におけるアークセンサ制御の結果を示す図である。

【図8】実施例1におけるアークセンサ制御の結果を示す図である。

【図9】実施例2および比較例におけるアークセンサ制御の結果を示す図である。

【図10】実施例2および比較例におけるアークセンサ制御の結果を示す図である。

【図11】従来のアークセンサウィービング幅制御における不都合を説明するための模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、以下では全ての図50

を通じて同一または相当する要素には同一の参照符号を付して、その重複する説明を省略する。

【 0 0 2 4 】

図1は本発明の一実施形態に係るアーク溶接のアークセンサ制御システムが適用される溶接システムの概略構成を示すプロック図である。図1に示すように、本実施形態のアーク溶接のアークセンサ制御システムが適用される溶接システムは、溶接装置1と、溶接装置1を制御する演算制御器2と、溶接装置1においてアークを発生させるための溶接電源3と、アークの溶接電流およびアーク電圧を検出するセンサ4とを備えている。

【 0 0 2 5 】

溶接装置1は、シールドガスを溶接部に供給するノズルを有する溶接トーチ11を有している。溶接トーチ11の先端(下端)には電極12が設けられている。溶接トーチ11には、溶接電源3からの電力線が接続され、電力が供給される。また、溶接装置1は、溶接トーチ11を水平軸方向に移動させる水平アクチュエータ13と、溶接トーチ11を鉛直方向に移動させる鉛直アクチュエータ14とを有している。水平アクチュエータ13および鉛直アクチュエータ14は、演算制御器2からの制御信号に基づいて作動し、溶接トーチ11を水平方向および鉛直方向に移動させる。なお、このような構成は、先端部に溶接トーチ11が備えられた多関節のロボットにより構成されてもよい。

【 0 0 2 6 】

溶接トーチ11の下方には、溶接対象であるワーク5が載置される。ワーク5は2つの被溶接材が突き合わされた状態で配置されており、溶接すべき箇所に開先51が形成されている。開先51は、2つの被溶接材が突き合わされた状態で各々の開先面が所定の開先角度_oを有するように配置されている。なお、この開先角度_oは、被溶接材同士の当接部近傍が曲面となっている場合もあるため、開先面同士を延長した面同士が交差した際のなす角を意味している。

【 0 0 2 7 】

溶接電源3は、ワーク5にも溶接電源3の電力線が接続されるよう構成されている。溶接電源3から供給される電力により、溶接トーチ11(の電極12)とワーク5との間に電圧が印加され、溶接トーチ11の先端から突出された電極12とワーク5との間にアークが発生する。これにより、ワーク5が溶接され、ビードが形成される。溶接電源3および溶接トーチ11の間の電力線と溶接電源3およびワーク5の間の電力線との間には溶接電流またはアーク電圧のうちアーク電圧を検出する電圧センサ41がセンサ4として設けられている。さらに、本実施形態においては、電力線の何れかに設けられた電流センサ42もセンサ4として設けられている。なお、本実施形態においては溶接電流またはアーク電圧を検出するセンサ4としてアーク電圧値を検出する電圧センサ41および溶接電流値を検出する電流センサ42の双方を有しているが、いずれか一方のみでもよい。また、溶接電流またはアーク電圧は溶接電源3からの電源線間の溶接電流またはアーク電圧を直接的に検出してもよいし、間接的に検出してもよい。一般的にMIG溶接、MAG溶接、CO₂溶接では電流値で制御し、TIG溶接では電圧値で制御するため、溶接の種類に応じて構成を組み替えたり、使い分けたりすればよい。

【 0 0 2 8 】

演算制御器2は、溶接トーチを溶接線に倣わせる際ににおけるアーク電圧または溶接電流からウィービングの端部における溶接トーチ11とワーク5の開先壁との水平距離を示す開先壁距離に相当する値およびトーチ高さに相当する値をそれぞれ取得し、それぞれの目標値との差をそれぞれ演算し、開先壁距離に相当する値のその目標値からの偏差(開先壁距離偏差)とトーチ高さに相当する値のその目標値からの偏差(トーチ高さ偏差)とからアクチュエータのウィービング幅に関する操作量(すなわち、水平アクチュエータ13の操作量)を演算するとともに、開先壁距離偏差とトーチ高さ偏差とからアクチュエータのトーチ高さに関する操作量(すなわち、垂直アクチュエータ14の操作量)を演算する演算器21として機能する。さらに、演算制御器2は、ウィービング幅に関する操作量およびトーチ高さに関する操作量に基づいて溶接装置1の各アクチュエータ13, 14を制御

10

20

30

40

50

する制御器 2 2 として機能する。具体的には、本実施形態の制御器 2 2 として機能する演算制御器 2 は、センサ 4 で検出された溶接電流又はアーク電圧に基づいて、溶接トーチ 1 1 を溶接対象であるワーク 5 の開先 5 1 の幅方向に所定のウィービング幅で周期的に移動させつつワーク 5 の開先 5 1 の溶接線方向に所定のトーチ高さで移動させて、ワーク 5 の開先 5 1 にビードを形成するように制御する。演算制御器 2 は、処理機能を有する限りどのような構成でもよく、例えばマイクロコントローラ、C P U、M P U、P L C (Programmable Logic Controller)、論理回路等で構成されている。また、本実施形態においては 1 つの演算制御器 2 が演算器 2 1 および制御器 2 2 の何れとしても機能する構成として説明しているが、別個の制御器または演算器で構成されてもよい。

【0029】

10

以下、具体的な制御様について説明する。まず、演算制御器 2 は、センサ 4 で検出された溶接電流またはアーク電圧から開先壁距離に相当する値およびトーチ高さに相当する値を取得する。このために、本実施形態においては、アーク電圧からウィービングの端部における溶接トーチ 1 1 とワーク 5 との水平距離と、溶接トーチ 1 1 の平均高さとを演算する。図 2 は図 1 に示す溶接システムの溶接トーチとワークとの位置関係をモデル化した幾何形状モデルを示す図である。

【0030】

図 2 に示すように、開先 5 1 の下端を原点として水平方向に Y 軸および鉛直方向に Z 軸を取っている。また、ウィービング幅 w の中心座標を (y, z) とし、これらを制御パラメータとして用いる。また、ウィービング幅 w の左端とワーク 5 の左壁 (左側の被溶接材) との間の水平距離を d l とし、ウィービング幅の右端とワーク 5 の右壁 (右側の被溶接材) との間の水平距離を d r とし、ウィービング位置からワーク 5 までの鉛直距離の平均値を平均トーチ高さ h としている。

20

【0031】

ここで、本発明の発明者らは、鋭意研究の末、上記各パラメータの関係を以下の式で設定した。すなわち、水平距離 d l , d r および平均トーチ高さ h のいずれにおいてもウィービング幅 w とウィービング中心における実際のトーチ高さ z とが所定の割合で含まれるように設定している。

【0032】

【数 3】

30

$$\begin{bmatrix} dl \\ dr \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t & -\frac{1}{2} \\ -1 & t & -\frac{1}{2} \\ 0 & 1 & -\frac{1}{4t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ z \\ w \end{bmatrix}, t = \tan \frac{\theta}{2} \quad \dots (3)$$

そして、本実施形態においては、上記式 (3) を用いた制御モデルが適用され、制御器 2 2 は、適用された制御モデルに基づいて制御する。図 3 は図 1 に示す溶接システムの制御モデルを示すブロック線図である。図 3 に示されるブロック線図より、上記式 (3) は、出力ベクトルを x とし、入力ベクトルを u としたとき、x = M u として表されるものである。このときの操作量 u は、目標値を x_{ref} とし、ゲインを K₁, K₂ として、u = K₂M⁻¹K₁(x_{ref} - x) で表される。このときの各パラメータの関係式を以下の式に設定した。

40

【0033】

【数4】

$$\begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_y & 0 & 0 \\ 0 & k_z & 0 \\ 0 & 0 & k_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 & -1/2 & 0 \\ -1/2t & -1/2t & 2 \\ -2 & -2 & 4t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & k_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dl_{ref} - dl \\ dr_{ref} - dr \\ h_{ref} - h \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4)$$

式(4)を展開すると、以下の式のようになる。

【0034】

【数5】

$$\begin{aligned} \Delta y &= \frac{k_y}{2}(-dl + dr) \\ \Delta z &= \frac{k_z}{t} \left\{ - \left(d_{ref} - \frac{dl + dr}{2} \right) + 2tk_h(h_{ref} - h) \right\} \quad \dots \quad (5) \\ \Delta w &= 4k_w \left\{ - \left(d_{ref} - \frac{dl + dr}{2} \right) + tk_h(h_{ref} - h) \right\} \end{aligned}$$

ここで、距離dと電圧Vとは一次式の関係($d = mV + b$ 、ただし m, b は定数)を有することが知られているため、これを用いて式(5)を変換すると、以下の式で表される。

【0035】

【数6】

$$\begin{aligned} \Delta y &= \frac{K_y}{2}(-V_{dl} + V_{dr}) \\ \Delta z &= \frac{K_z}{t} \left\{ - \left(V_{dref} - \frac{V_{dl} + V_{dr}}{2} \right) + 2tK_h(V_{href} - V_h) \right\} \quad \dots \quad (6) \\ \Delta w &= 4K_w \left\{ - \left(V_{dref} - \frac{V_{dl} + V_{dr}}{2} \right) + tK_h(V_{href} - V_h) \right\} \end{aligned}$$

以上より、yが溶接線値の操作量を示し、zがトーチ高さの操作量を示し、wがウェーピング幅の操作量を示すものとなる。

【0036】

このような式の導出の結果、上記式(6)よりこのワーク5の開先角度が大きいほどいずれの操作量においてもトーチ高さ偏差が影響する比率が開先壁距離偏差が影響する比率より相対的に大きくなるように設定することでゲインを下げることなく高性能にウェーピング幅wとトーチ高さzとを最適に制御することができるという知見を得ることができた。

【0037】

なお、 $V_{dref} - (V_{dl} + V_{dr}) / 2$ は、開先壁距離偏差を示し、 $V_{href} - V_h$ は、トーチ高さ偏差を示すものであるため、それぞれ P_d, P_h とおくと、トーチ高さの操作量zは、次式(7)で表され、ウェーピング幅wの操作量wは、次式(8)で表される。

【0038】

【数7】

$$\Delta z = K_z \left(-\frac{\Delta P_d}{t} + 2K_h \Delta P_h \right) \quad \dots \quad (7)$$

【0039】

【数8】

$$\Delta w = 4K_w(-\Delta P_d + tK_h\Delta P_h) \quad \dots \quad (8)$$

ここで、 K_z 、 K_w は、トーチ高さおよびウィーピング幅に関する操作量の各ゲインを示し、 K_h は、調整係数を示す。

【0040】

次に、上記で得られた式(6)の入力パラメータである V_{d_1} 、 V_{d_r} 、 V_h の検出方法について説明する。図4は図1に示す溶接システムの溶接トーチの軌跡およびそれに対応するアーク電圧変化を示す図である。図4の上側の図はトーチ軌跡のグラフを示し、図4の下側の図はトーチ軌跡に対応するアーク電圧変化のグラフを示している。トーチ軌跡のグラフにおいては、初期値を0としている。10

【0041】

本実施形態においては、演算器21は、ウィーピングの1周期が予め定められた数で分割された複数の区間ごとに、センサ4から検出されるアーク電圧の平均値を算出し、複数の区間のうち、算出されるウィーピング端部に対応する1または複数の区分の平均値に基づいて開先壁距離に相当する値(電圧値)を取得し、ウィーピングの1周期分のアーク電圧の平均値に基づいてトーチ高さに相当する値(電圧値)を取得するよう構成されている。具体的には、図4の下側の図に示されるように、例えばウィーピングの1周期を8等分し、ウィーピング端部に対応する区間(図4の例においては8つの区間0~7のうち区間1, 2および区間5, 6)の平均アーク電圧値をウィーピング端部における電圧 V_{d_1} 、 V_{d_r} として用い、ウィーピングの1周期の全体の平均アーク電圧値をトーチ高さを示す電圧 V_h として用いる。20

【0042】

このように、溶接電流またはアーク電圧をウィーピング周期に応じて区分けすることによって溶接トーチの各位置におけるアーク電圧を簡便に演算することができる。なお、本実施形態においてはウィーピングの1周期を8分割することによりウィーピングの端部におけるアーク電圧を検出するとしたが、ウィーピングの端部におけるアーク電圧を検出可能である限り、分割数をこれより多くしてもよいし、少なくしてもよい。また、ウィーピングの端部のアーク電圧は、ウィーピングの端部におけるピーク電圧値を用いることとしてもよい。また、トーチ高さの電圧を示す電圧として、ウィーピングの中央位置における電圧を検出することとしてもよい。さらに、MIG, MAG, CO2溶接等の消耗電極式溶接においては、電極12であるワイヤの先端とワークの距離とが所定距離以内に近づくとアークが消弧して短絡する時間(短絡時間)が長くなったり、短絡する回数(短絡回数)が増加する。従って、このような短絡時間や短絡回数を計測することで、ワイヤの先端とワークとの距離を推定することとしてもよい。30

【0043】

また、本実施形態においては、開先壁距離に相当する値およびトーチ高さに相当する値を所定区間ににおけるアーク電圧を検出することで取得し、その電圧値自体を目標値(電圧値)と比較することとしているが、検出したアーク電圧または溶接電流から実際に開先壁距離およびトーチ高さを演算により求めた上で、開先壁距離およびトーチ高さのそれぞれの目標値(距離値)と比較することとしてもよい。40

【0044】

以上のように、本実施形態において、トーチ高さの操作量 z およびウィーピング幅の操作量 w に対し、それぞれ開先壁距離偏差 P_d およびトーチ高さ偏差 P_h が影響する比率(以下、影響比率という)がワーク5の開先角度に応じて設定されている。具体的には、影響比率は、上記式(7)および(8)における開先壁距離偏差 P_d およびトーチ高さ偏差 P_h の重みを示す係数の絶対値として示される。ウィーピング幅の操作量 w における開先壁距離偏差 P_d の影響比率は、 $w_d = 4$ であり、トーチ高さ偏差 P_h の影響比率は、 $w_h = \underline{4 t K_h}$ であり、その比(P_h / P_d)は $w = \underline{t K_h}$ 50

となる。また、トーチ高さの操作量 z における開先壁距離偏差 P_d の影響比率は、 $z_d = 1/t$ であり、トーチ高さ偏差 P_h の影響比率は、 $z_h = 2K_h$ であり、その比 (P_h / P_d) は $z = 2tK_h$ となる。その結果、演算器 21 は、当該開先角度が大きいほど開先壁距離偏差の影響比率 w_d 、 z_d に対しトーチ高さ偏差の影響比率 w_h 、 z_h が相対的に大きくなるように（影響比率の比 w_h / z_h が大きくなるように）トーチ高さの操作量 z およびウィービング幅の操作量 w を演算する。

【0045】

例えれば、開先角度が 90° （すなわち $t = 1$ ）かつ後述する調整係数 $K_h = 1$ とすると、トーチ高さの操作量 z における開先壁距離偏差 P_d とトーチ高さ偏差 P_h との影響比率の比 z は $z = 2$ ($P_d : P_h = 1 : 2$) となり、同じくウィービング幅の操作量 w における上記影響比率の比 w は $w = 1$ ($P_d : P_h = 1 : 1$) となる。また、開先角度が 120° （すなわち $t = 1.73$ ）かつ調整係数 $K_h = 1$ とすると、トーチ高さの操作量 z における上記影響比率 z は $z = 3.46$ ($P_d : P_h = 1 : 3.46$) となり、同じくウィービング幅の操作量 w における上記影響比率 w は $w = 1.73$ ($P_d : P_h = 1 : 1.73$) となる。このように開先角度が大きいほどいずれの操作量 z 、 w においてもトーチ高さ偏差 P_h による影響が開先壁距離偏差 P_d による影響より大きくなる（影響比率の比 w_h / z_h の大きさが大きくなる）。

【0046】

制御器 22 は、演算器 21 で演算された各操作量に基づいて水平および鉛直アクチュエータ 13, 14 を駆動して溶接トーチ 11 を移動させる制御を行う。

【0047】

上記構成によれば、センサ 4 で検出されたウィービング 1 周期の平均アーク電圧値およびウィービング端部区間の平均アーク電圧値の両方を用いて各アクチュエータ 13, 14 のトーチ高さに関する操作量 z およびウィービング幅に関する操作量 w がそれぞれ演算される。しかも、各操作量における開先壁距離偏差 P_d およびトーチ高さ偏差 P_h に関するパラメータに掛けられた影響比率（重み係数）がワーク 5 の開先角度に応じて設定されている。そして、いずれの操作量においてもワーク 5 の開先角度が大きいほどトーチ高さ偏差 P_h の影響比率が開先壁距離偏差 P_d の影響比率より大きくなるように設定することでゲインを下げる事なくウィービング幅 w とトーチ高さ z を迅速かつ最適に制御することができる。従って、このような制御モデルを導入することにより、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うことができる。

【0048】

図 5 は図 1 に示す溶接システムの溶接トーチ制御を概念的に示す模式図である。図 5 (a) および図 5 (b) は従来例を示す図 11 (a) および図 11 (c) に対応した図である。本実施形態によれば、図 5 (a) に示すように、ウィービング幅の制御と同時にトーチ高さの制御が行われるため、溶接トーチ 11 とワーク 5 とが異常接近することを防止することができ、図 5 (b) に示すように、初期ウィービング幅 w_0 から目標ウィービング幅 w_t に短い制御サイクルで漸近させることができる。

【0049】

また、上記式 (7) および (8) に示すように、各操作量は、影響比率に当該影響比率を調整する調整係数 K_h が掛けられている。これにより、同じ開先角度であってもワーク 5 の種類や使用用途に応じてより好適な制御性能に調整することができる。なお、調整係数 K_h は、必ずしも必要ではなく、 $K_h = 1$ で固定されていてもよい。

【0050】

なお、本実施形態においてはアーク電圧を検出する構成について説明したが、溶接電流を検出する構成としてもよい。この場合、電流の距離との関係が電圧における距離との関係とは逆（距離が大きくなると電圧は大きくなるが電流は小さくなる）となるため、式 (6)（すなわち式 (7) および (8)）のそれぞれの式においてマイナス (-) の符号が付加されたものとなる。また、例えば MIG, MAG, CO2 溶接においては、溶接電流

10

20

30

40

50

を用いてアークセンサ制御することが一般的であるため、操作量演算のための検出値も溶接電流値とすることが好ましく、例えばTIG溶接においては、アーク電圧を用いてアークセンサ制御することが一般的であるため、操作量演算のための検出値もアーク電圧値とすることが好ましい。

【実施例1】

【0051】

上記実施形態の溶接システムにおいて実際にワークをTIG溶接する実験を行った。図6は本実施例1において用いたワークの形状を示す図である。図6(a)は側面図であり、図6(b)は斜視図である。図6に示すように本実施例においてはワーク5として板面が長手方向中央部で短手方向軸回りに湾曲した形状を有する鋼板5Aの短手軸に垂直な側面を45°傾けた鋼板5Bに溶接する場合(開先角度=90°)の溶接線倣いを検証した。このようなワーク5に図6(a)における左側から右側へ溶接を施す場合、溶接線Lは、溶接トーチ11が上りながら進行方向左に曲がっていき、中央部を超えると下りながら進行方向右に曲がっていく。

【0052】

また、本実施例の溶接条件は、以下のように設定した。

【0053】

【表1】

項目	値	備考
溶接速度	15 cm/分	
ウェービング幅	10 mm	初期設定値
ウェービング周波数	2 Hz	
ウェービングパターン	単振動	
中央トーチ高さ	10 mm	初期設定値
溶接長	300 mm	トーチ移動方向の水平距離

そして、本実施例における式(6)の各制御パラメータを以下のように設定した上で、溶接線倣いを行いながら、検出されたアーク電圧値に基づいて式(6)を用いてウェービング幅およびトーチ高さの操作量を演算し、溶接トーチ11の制御を行った。なお、アークが安定するまでの開始から数秒間はアークセンサ制御を行わないこととした。また、溶接装置1には溶接開始位置および終了位置の2点のみを教示し、制御を行わない場合には溶接トーチ11がこの2点間を結ぶ直線上を移動するように設定されている。

【0054】

【表2】

項目	記号	値
左右ゲイン	K_y	0.2 mm/V
調整係数	K_h	1
Δzゲイン	K_z	1 mm/V
Δwゲイン	K_w	0.2 mm/V

上記の条件で実際に溶接動作を行った結果を図7および図8に示す。図7および図8は実施例1におけるアークセンサ制御の結果を示す図である。図7(a)は検出されたアーク電圧を示す図であり、図7(b)はウェービング幅の目標値に対する偏差を示す図であり、図8(a)は溶接トーチの水平位置軌跡を示す図であり、図8(b)は溶接トーチの鉛直位置軌跡を示す図である。なお、図8においてはいずれの図も初期値を0にとっている。

【0055】

図8に示すように、本実施例においては、溶接線倣いに関する水平位置およびトーチ高さ制御に関する鉛直位置とともに、溶接線の曲線を高性能に倣うことができた。特に、本実

10

20

30

40

50

施例のワーク5の形状により、溶接の前半は、溶接線Lが上りとなり、溶接トーチは水平に動こうとするため、溶接トーチ11とワーク5との相対距離が近づくことにより、図7(b)に示すように、ウェービング幅が比較的小さくなっている。このことは図8(a)の前半部分における水平位置および振幅でも確認することができる。一方、溶接の後半は、溶接線Lが下りとなり、溶接トーチが水平に動こうとするため、溶接トーチ11とワーク5との相対距離が離れることにより、図7(b)に示すように、ウェービング幅が比較的大きくなっている。このことは図8(a)の後半部分における水平位置および振幅でも確認することができる。このように、ワーク5の形状に応じてアーケル溶接が忠実に行われていることが示された。

【実施例2】

10

【0056】

さらに、本実施形態の制御様式を比較例と比較する実験を行った。本実施例においても、上記実施例1と同様に、下記のような溶接条件に基づいて、式(6)を用いて制御を行った。

【0057】

【表3】

項目	値
溶接速度	20 cm
ウェービング幅の初期値	8 mm
ウェービング幅の目標値	11 mm
ウェービング周波数	2 Hz
ウェービングパターン	単振動
中央トーチ高さの初期値	14 mm
中央トーチ高さの目標値	10 mm

20

また、比較例において、トーチ高さの操作量zについては、式(6)のzの式のうち $V_{dref} - (V_{d1} + V_{dr}) / 2$ の項がない式を用いるとともに、ウェービング幅の操作量wについては、式(6)のwの式のうち $V_{href} - V_h$ の項がない式を用いて各操作量を演算することとした。すなわち、比較例においては、トーチ高さの操作量

zの演算において開先壁距離方向の値は寄与せず、ウェービング幅の操作量wの演算においてトーチ高さの値は寄与しない制御とした。なお、比較し易いように本実施例と比較例とにおいては各ゲインの値を異ならせている。また、アーケルが安定するまでの開始から数秒間はアーケルセンサ制御を行わないこととした。

30

【0058】

上記の条件で実際に溶接動作を行った結果を図9および図10に示す。図9および図10は実施例2および比較例におけるアーケルセンサ制御の結果を示す図である。図9(a)はウェービング幅の時間変化を示す図であり、図9(b)はウェービング端とワークとの間の水平距離の時間変化を示す図であり、図10(a)は中央トーチ高さの時間変化を示す図であり、図10(b)は平均トーチ高さの時間変化を示す図である。

【0059】

40

図9(a)に示すように、比較例においてはウェービング幅が制御開始直後にオーバーシュートしている。すなわち、図9(b)に示すように、溶接トーチ11とワーク5との間の水平距離が異常接近している。このような異常接近はアンダーカット等の溶接欠陥の要因となる。これに対し、本実施例においてはウェービング幅の制御がオーバーシュートすることなく滑らかに行われており、比較例のような溶接欠陥のおそれではなく、しかも、所定時間経過後はウェービング幅が安定している。トーチ高さに関してても、図10(a)および図10(b)に示すように、比較例においてはトーチ高さが制御開始直後にオーバーシュートしているのに対し、実施例においては滑らか且つ安定した制御が行われている。このことからも明らかのように、本実施形態の制御方法を用いることにより、ウェービング幅およびトーチ高さの目標値への収束をオーバーシュートされることなく迅速に行う

50

ことができる。

【0060】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で種々の改良、変更、修正が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0061】

本発明のアーク溶接の制御システムおよび制御方法は、ウィービング幅の制御とトーチ高さの制御とを同時且つ高性能に行うために有用である。

【符号の説明】

【0062】

1 溶接装置

2 演算制御器

3 溶接電源

4 センサ

5 ワーク

1 1 溶接トーチ

1 2 電極

1 3 水平アクチュエータ

1 4 鉛直アクチュエータ

2 1 演算器

2 2 制御器

4 1 電圧センサ

4 2 電流センサ

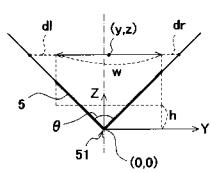
5 1 開先

開先角度

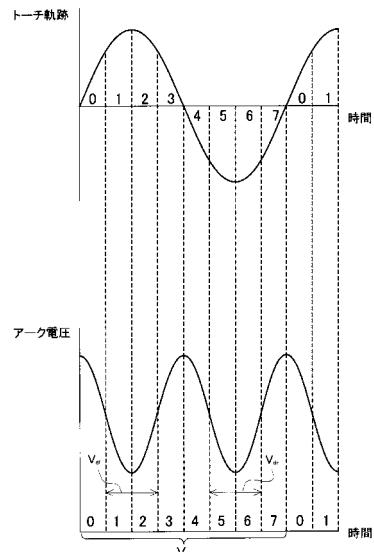
10

20

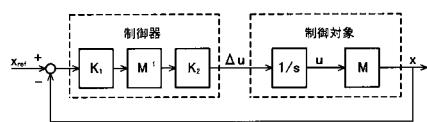
【図2】



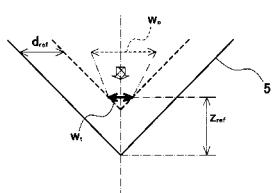
【図4】



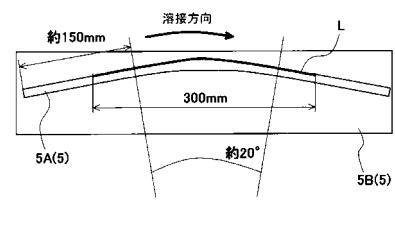
【図3】



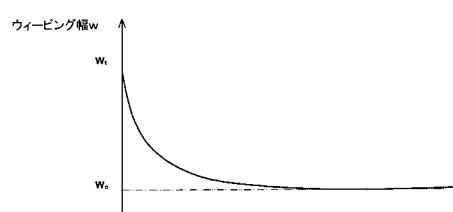
【図5】



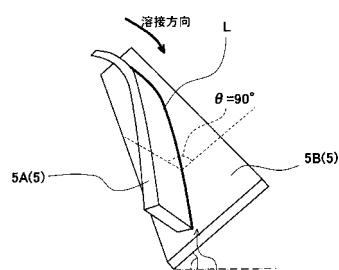
(a)



(a)

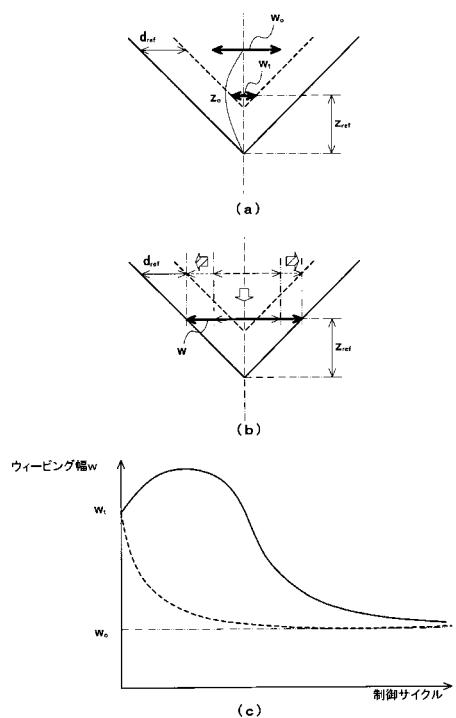


(b)

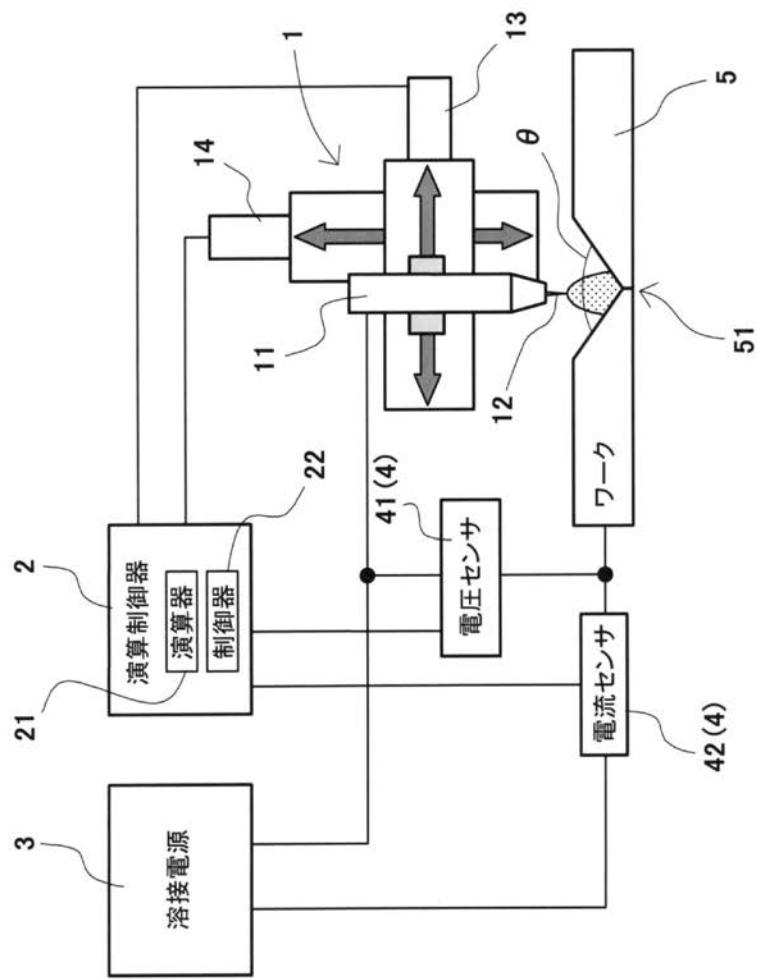


(b)

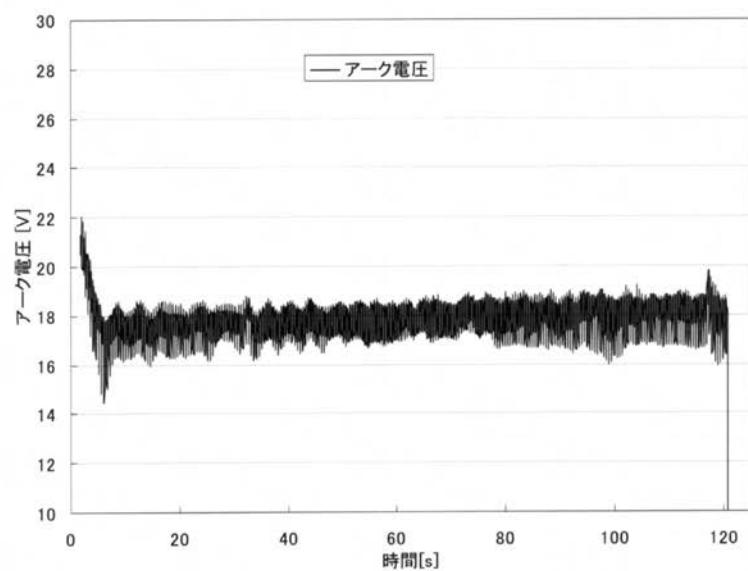
【図 1 1】



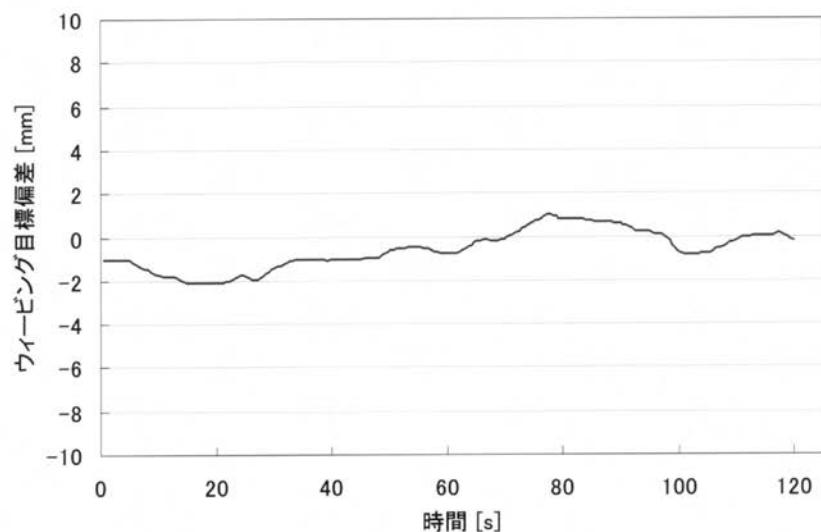
【図1】



【図7】

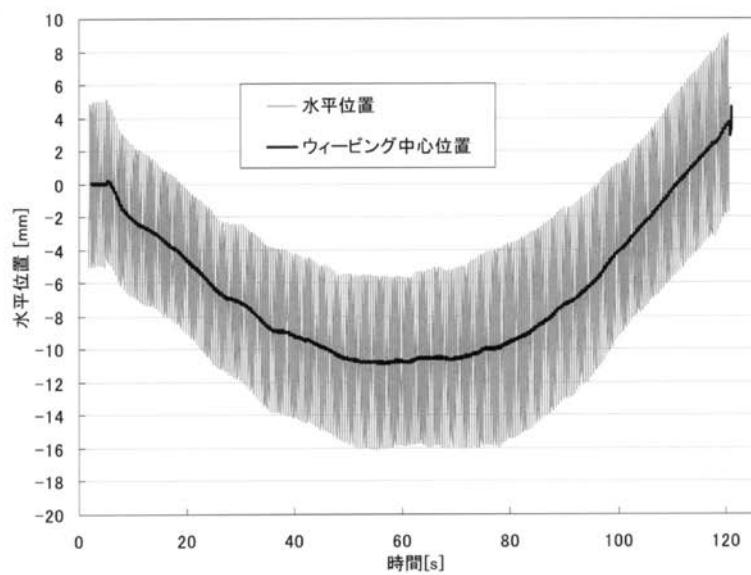


(a)

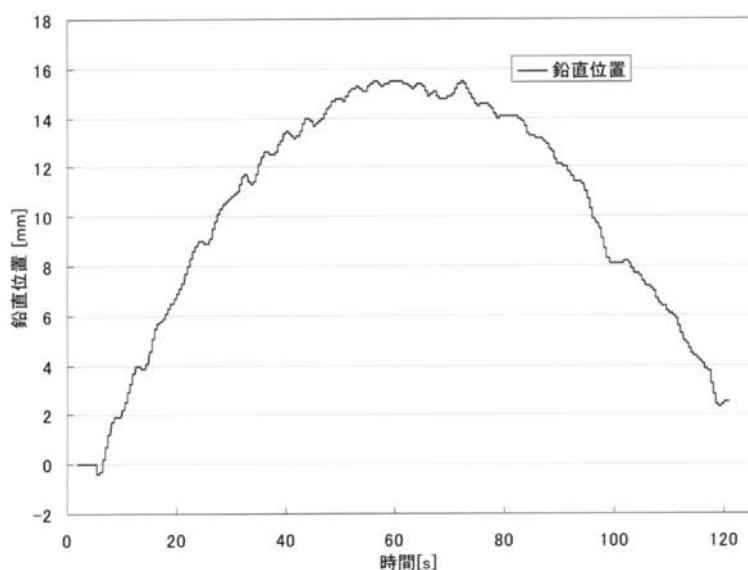


(b)

【図8】

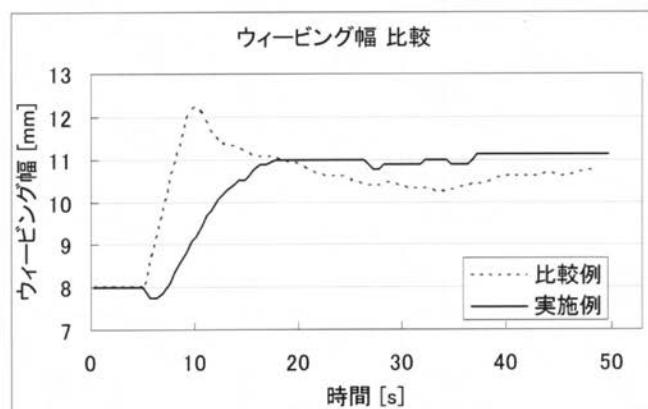


(a)

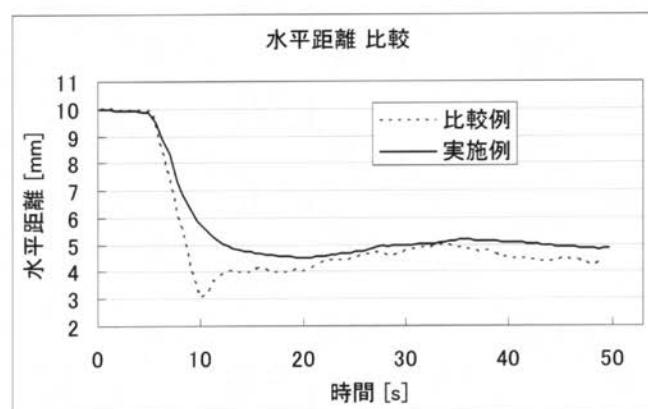


(b)

【図9】

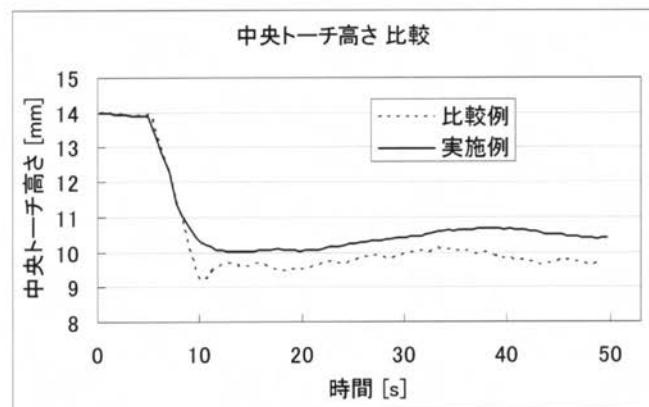


(a)

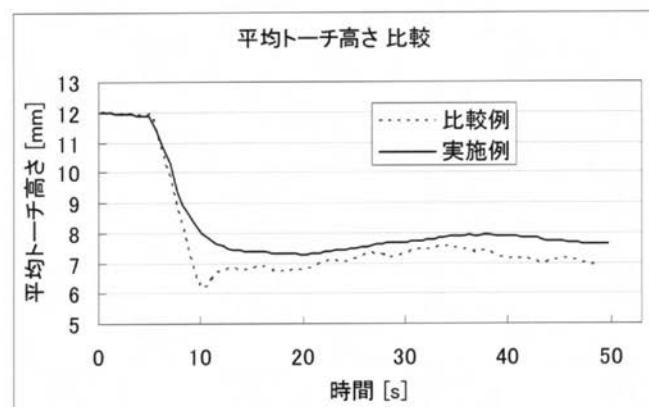


(b)

【図10】



(a)



(b)

フロントページの続き

(72)発明者 池澤 行雄

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

審査官 仁木 学

(56)参考文献 特開2000-158136(JP,A)

特開昭62-230476(JP,A)

特開昭62-267071(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 9/095

B23K 9/12

B23K 9/127

G05B 19/4093