

(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 I
B 2 3 K 9/095 (2006.01)	B 2 3 K 9/095 5 1 0 E
B 2 3 K 9/12 (2006.01)	B 2 3 K 9/12 3 5 0 G
B 2 3 K 9/127 (2006.01)	B 2 3 K 9/127 5 0 7 C
	B 2 3 K 9/095 5 0 5 B
	B 2 3 K 9/127 5 1 0 C

請求項の数 5 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2010-240089 (P2010-240089)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成22年10月26日 (2010.10.26)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-91197 (P2012-91197A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成24年5月17日 (2012.5.17)	(74) 代理人	110000556
審査請求日	平成25年6月6日 (2013.6.6)		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	瀬渡 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做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演算器と、

前記ウィ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ィーピ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、

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、前記ウィ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】

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

【数 2】

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

ここで、 K_z 、 K_w は、トーチ高さに関する操作量およびウィ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 $t = \tan(\quad / 2)$ で表される値を示し、 K_h は、調整係数を示す。

【請求項 4】

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、請求項 1 に記載のアーク溶接の制御システム。

【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做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、

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、

前記ウィ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ィ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、

前記ウィ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、

10

20

30

40

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。

【背景技術】

10

【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ピ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。

【0003】

20

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、ウィーピ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、ウィーピ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。

【0004】

さらに、ワークの開先幅に対して適切なウィーピング幅を得るためにウィーピ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、ウィーピ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ピ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、ウィーピ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、ウィーピ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ピ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ピング幅 w_0 およびトーチ高さ z_0 である場合に、ウィーピング幅 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ピング幅 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ピング幅の端部とワークとの水平距離も短く

50

なるため、ウィーピング幅 w が目標トーチ高さ z_{ref} における目標ウィーピング幅 w_t より大きくなってしまふ。一般に、ウィーピ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ずつ変化させる。従って、ウィーピング幅 w に関して言えば、図 11 (c) の破線で示すように、初期ウィーピング幅 w_0 から制御サイクルを繰り返すほど目標ウィーピング幅 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、初期ウィーピング幅 w_0 に対して本来であれば目標ウィーピング幅 w_t に近づけるためにウィーピング幅 w を狭める制御を行う必要があるにも拘らずウィーピング幅 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、ウィーピ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、ウィーピ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、ウィーピング幅の制御とトーチ高さの制御とをウィーピ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ピ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ピ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】

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演算器と、前記ウィ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ィーピ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、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。

30

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と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もよい。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】

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

20

【0016】

【数2】

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

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 $t = \tan(\quad / 2)$ 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、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、前記ウィ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ィ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、前記ウィ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、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ピ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ピング幅とトーチ高さ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。

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。

40

【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ピ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ブロック図である。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 1 1 を有している。溶接トーチ 1 1 の先端（下端）には電極 1 2 が設けられている。溶接トーチ 1 1 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 1 1 を水平軸方向に移動させる水平アクチュエータ 1 3 と、溶接トーチ 1 1 を鉛直方向に移動させる鉛直アクチュエータ 1 4 とを有している。水平アクチュエータ 1 3 および鉛直アクチュエータ 1 4 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 1 1 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 1 1 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 1 1 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、溶接すべき箇所を開先 5 1 が形成されている。開先 5 1 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を有するように配置されている。なお、この開先角度は、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 1 1（の電極 1 2）とワーク 5 との間に電圧が印加され、溶接トーチ 1 1 の先端から突出された電極 1 2 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 1 1 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 4 1 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 4 2 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 4 1 および溶接電流値を検出する電流センサ 4 2 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 M I G 溶接、M A G 溶接、C O 2 溶接では電流値で制御し、T I G 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おけるアーク電圧または溶接電流からウィーピングの端部における溶接トーチ 1 1 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ピング幅に関する操作量（すなわち、水平アクチュエータ 1 3 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 1 4 の操作量）を演算する演算器 2 1 として機能する。さらに、演算制御器 2 は、ウィーピ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 1 3 , 1 4 を制御

する制御器 22 として機能する。具体的には、本実施形態の制御器 22 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 11 を溶接対象であるワーク 5 の開先 51 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ワーク 5 の開先 51 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 51 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、CPU、MPU、PLC (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 21 および制御器 22 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、具体的な制御態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ピングの端部における溶接トーチ 11 とワーク 5 との水平距離と、溶接トーチ 11 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 51 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、ウィーピング幅 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、ウィーピング幅 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、ウィーピ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、ウィーピ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ピング幅 w とウィーピ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 22 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、 $x = Mu$ 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 K_1, K_2 として、 $u = K_2 M^{-1} K_1 (x_{ref} - x)$ 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】

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

式(4)を展開すると、以下の式ようになる。

【0034】

【数 5】

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

10

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。

20

【0035】

【数 6】

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

30

以上より、 y が溶接線倣いの操作量を示し、 z がトーチ高さの操作量を示し、 w がウィ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 θ 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ィーピング幅 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、ウィーピング幅 w の操作量 w は、次式(8)で表される。

40

【0038】

【数 7】

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

【0039】

50

【数 8】

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

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_{d1} 、 V_{dr} 、 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)を取得するように構成されている。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_{d1} 、 V_{dr} 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、 $w_h = 4tK_h$ であり、その比(P_h / P_d)は $w = tK_h$

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 、 z が大きくなるように) トーチ高さの操作量 z およびウィーピング幅の操作量 w を演算する。

【0045】

例えば、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、同じくウィーピング幅の操作量 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、同じくウィーピング幅の操作量 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 、 z 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ピング 1 周期の平均アーク電圧値およびウィーピ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 およびウィーピ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ことなくウィーピング幅 w とトーチ高さ z と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。

【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、ウィーピ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、初期ウィーピング幅 w_0 から目標ウィーピング幅 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

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	１５ｃｍ／分	
ウィーピング幅	１０ｍｍ	初期設定値
ウィーピング周波数	２Ｈｚ	
ウィーピングパターン	単振動	
中央トーチ高さ	１０ｍｍ	初期設定値
溶接長	３００ｍｍ	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）を用いてウィーピ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	０．２ｍｍ／Ｖ
調整係数	K_h	１
Δz ゲイン	K_z	１ｍｍ／Ｖ
Δw ゲイン	K_w	０．２ｍｍ／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）はウィーピ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

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、ウィーピ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、ウィーピ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ク溶接が忠実に行われていることが示された。

【実施例 2】

【0056】

さらに、本実施形態の制御態様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 c p m
ウィーピング幅の初期値	8 mm
ウィーピング幅の目標値	11 mm
ウィーピング周波数	2 Hz
ウィーピングパターン	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

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 $V_{dref} - (V_{dl} + V_{dr}) / 2$ の項がない式を用いるとともに、ウィーピング幅の操作量 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、ウィーピング幅の操作量 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。

【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クセンサ制御の結果を示す図である。図 9 (a) はウィーピング幅の時間変化を示す図であり、図 9 (b) はウィーピ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】

図 9 (a) に示すように、比較例においてはウィーピ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ィーピ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はなく、しかも、所定時間経過後はウィーピング幅が安定している。トーチ高さに関しても、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。このことから明らかなように、本実施形態の制御方法を用いることにより、ウィーピ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せることなく迅速に行う

ことができる。

【 0 0 6 0 】

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】

【 0 0 6 1 】

本発明のアーカ溶接の制御システムおよび制御方法は、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ために有用である。

【符号の説明】

【 0 0 6 2 】

- 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

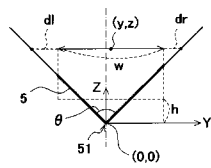
- 4 1 電圧センサ
- 4 2 電流センサ

- 5 1 開先
- 開先角度

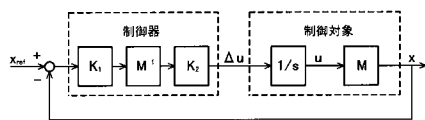
10

20

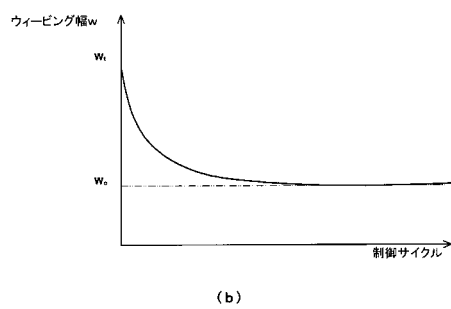
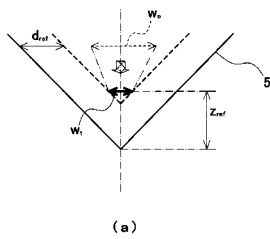
【図 2】



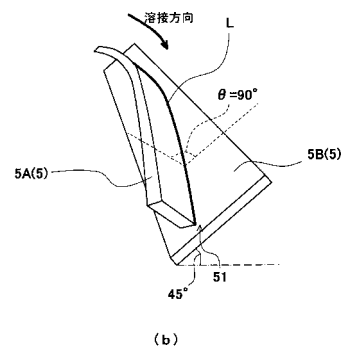
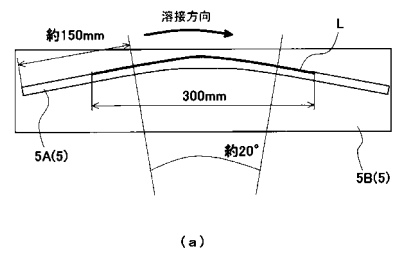
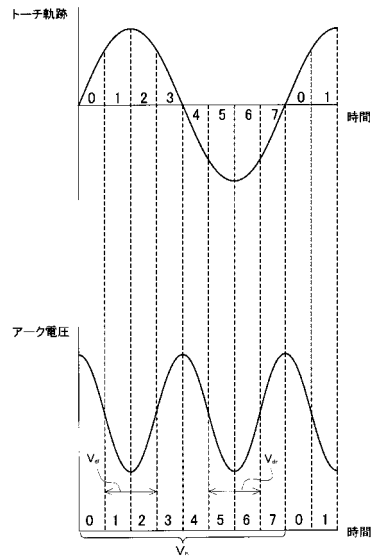
【図 3】



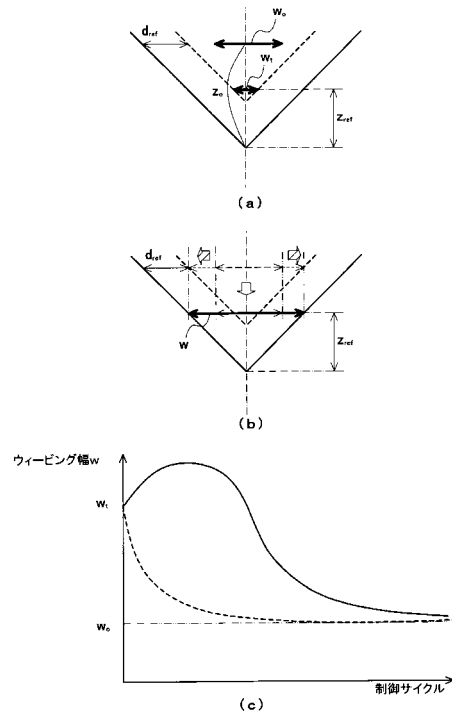
【図 5】



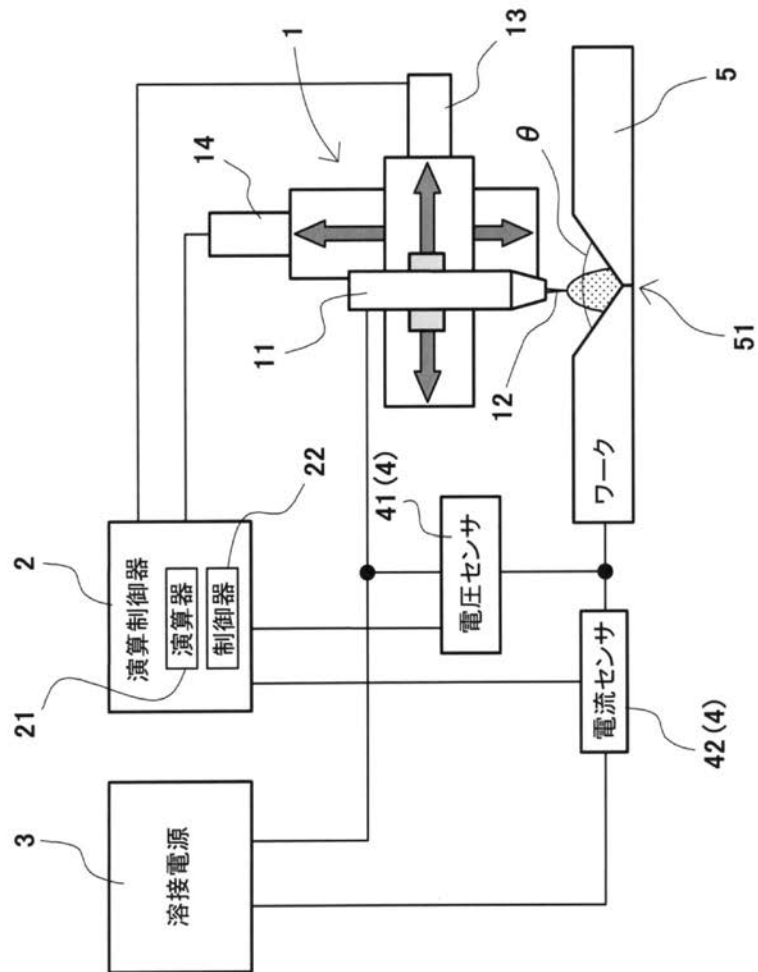
【図 6】



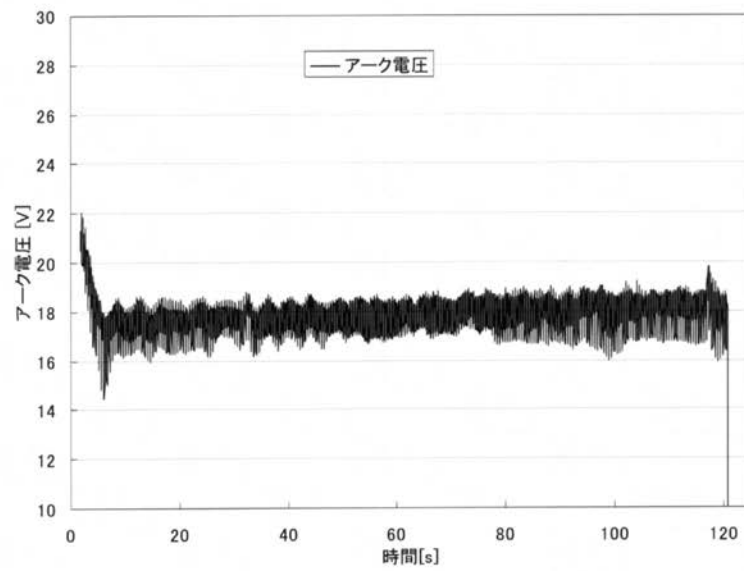
【図 11】



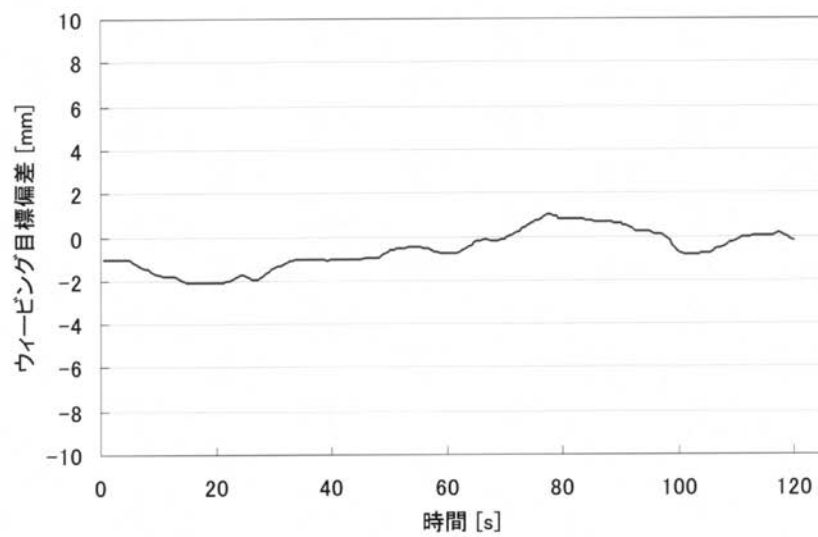
【図 1】



【図 7】

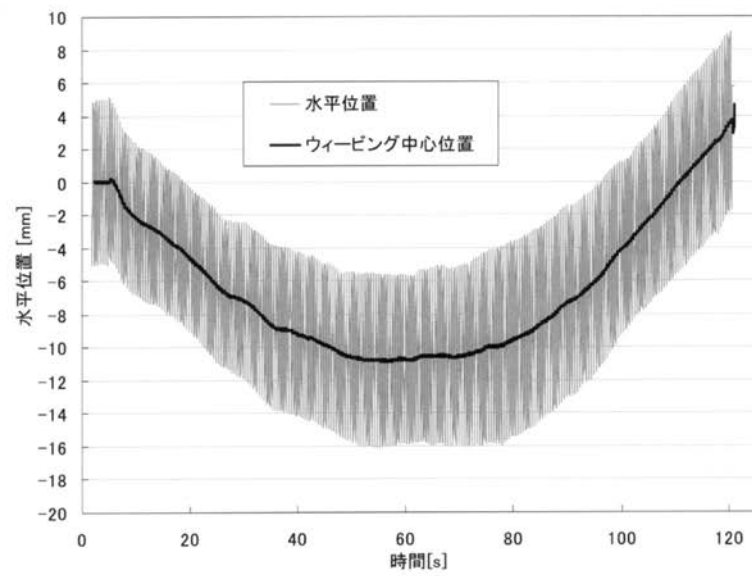


(a)

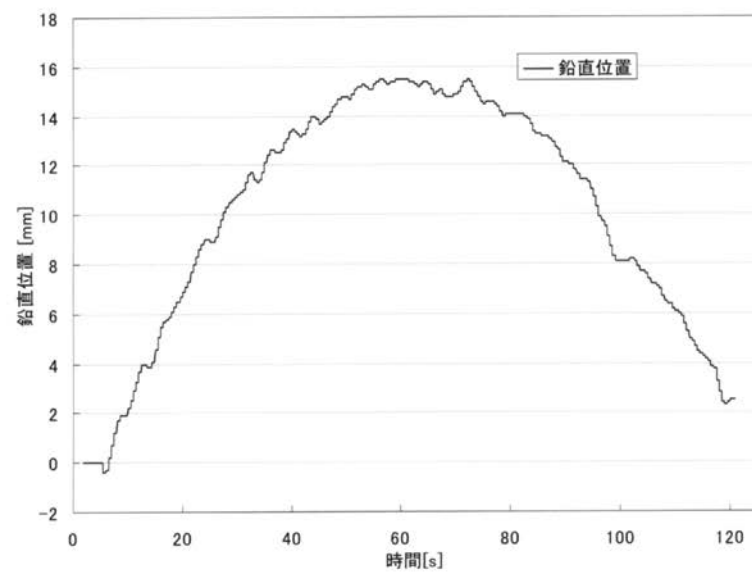


(b)

【図 8】

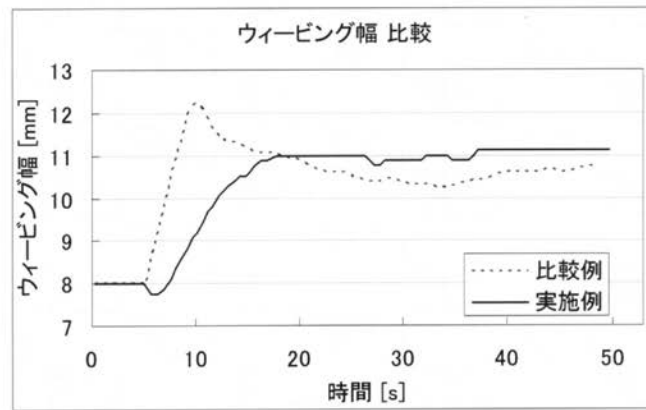


(a)

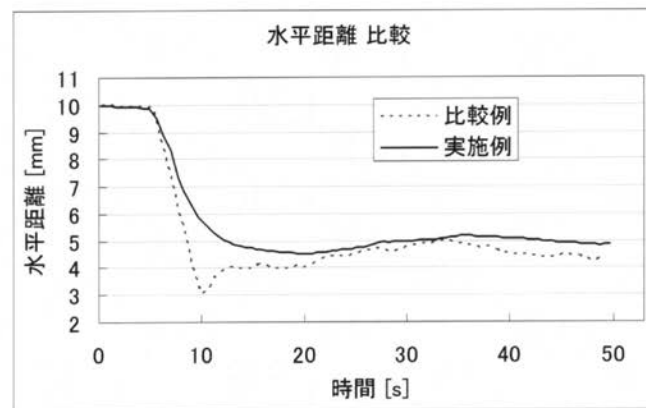


(b)

【図 9】

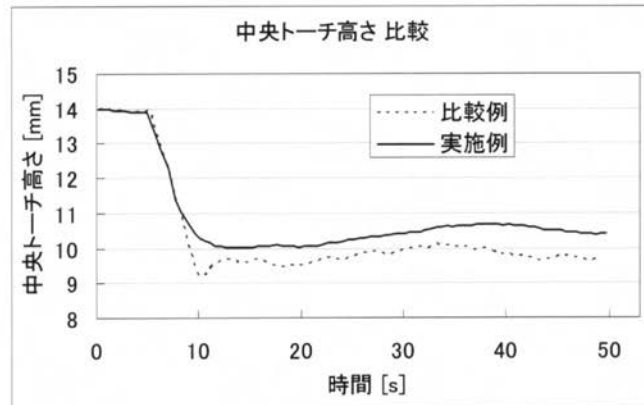


(a)

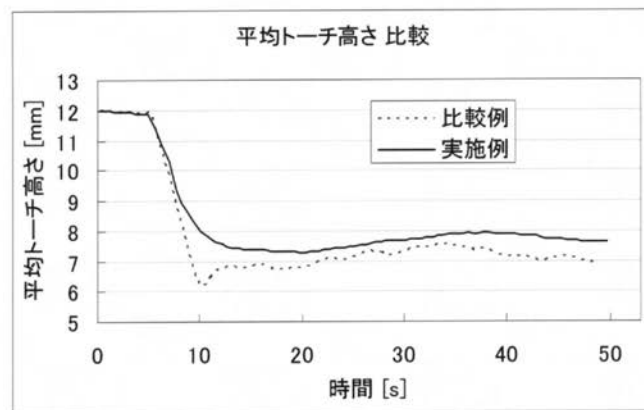


(b)

【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