

明 細 書

発明の名称：

可搬型溶接ロボットの溶接制御方法、溶接制御装置、可搬型溶接ロボット及び溶接システム

技術分野

[0001] 本発明は、ガイドレール上を移動して溶接を自動で行うことができる可搬型溶接ロボットの溶接制御方法、溶接制御装置、可搬型溶接ロボット及び溶接システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、造船、鉄骨、橋梁等における溶接構造物の製造において、工場内における溶接作業は、自動化が進み、大型の多軸溶接ロボットが多用されている。一方、大型の多軸溶接ロボットが適用できない現場溶接作業においても、半自動溶接といった手動の溶接から作業員が一人で運ぶことができる軽量小型の可搬型溶接ロボットを適用した溶接方法へと自動化が進められている。このような可搬型溶接ロボットの適用は、それまで手動で溶接が進められてきた溶接現場において、溶接効率を向上させることができる。

[0003] この可搬型溶接ロボットを適用した技術として、例えば、特許文献1がある。特許文献1では、建設現場で用いられている角形鋼管に対して、直線部と曲線部とを有したコーナユニットを用いたガイドレールを、溶接対象の角形鋼管の外周に取り付ける。そして、ガイドレールに、溶接ロボットを摺動可能に設ける。制御装置の制御部は、溶接ロボットにより溶接する溶接部分の曲率中心の位置と、コーナユニットにおいて、溶接部分を溶接するときの溶接ロボットが所在する位置の曲率中心の位置とが異なる場合に、溶接ロボットによる単位時間あたりの溶接部分の長さ（溶接速度）が一定となるように、溶接ロボットの移動速度を制御する。これにより、多様な形状の多角形鋼管を効率的に溶接している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2018-58078号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、溶接する現場においては、溶接するワークは前工程での組立精度や切断精度によって図面との誤差を伴い現場に搬入される。その後、搬入したワーク同士を組み付け作業し、溶接継手となる開先形状を形成することになるが、当然、この組み付け作業にも誤差が発生する。そのため、現場で溶接する溶接継手の開先形状は、同じ継手部においても、溶接の場所によって開先形状の断面が異なってくる。一方、溶接品質の面では、溶接継手のビード幅、余盛高さは一定の基準寸法を満足することが求められる。もちろん、アンダーカット、オーバーラップのような溶接欠陥は認められない。このような溶接継手の場所によって開先形状が異なる溶接施工では、溶接品質を満足するために、溶接ロボットに開先形状を事前に認識させて、開先形状の断面積に合わせて溶接条件を適切に制御し、溶接開先内の溶接金属の高さが、開先形状が変化しても全溶接長さにわたって一定に保持できることが求められる。

[0006] また、可搬型溶接ロボットが走行するガイドレールの設置は手作業で行われるため、ガイドレールを精度良く設置しようと多くの時間を要しても、ガイドレールと溶接開先の位置関係は溶接継手ごとに異なってくるのが現状である。溶接現場においては、ガイドレールと開先形状の位置関係をガイドレールの設置後ごとに確認し、この位置関係データをもとに可搬型溶接ロボットを適正に作動させて行くことも必要である。

特許文献1に開示された可搬型溶接ロボットを用いた溶接においては、開先形状が変化している溶接継手に対して、単位時間あたりの溶接部分の長さ（すなわち、溶接速度）が一定となるように、溶接ロボットの移動速度を制御すると、溶接開先内の溶接金属の高さは開先形状の変化に応じて異なるようになり、最終の仕上がりでは、場所によって溶接金属の幅と余盛高さが基

準値を逸脱し、極端な所ではアンダーカット、オーバーラップの欠陥を招き、溶接品質を満足できなくなるおそれがあった。更に、ガイドレール設置精度に起因するガイドレールと開先形状位置のズレから生じる溶接作業性については考慮されておらず、ワークに付着したスパッタ除去等の補修作業等が必要となり、作業効率が大きく低下するおそれがあった。

[0007] 本発明は、前述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、開先形状の変化やガイドレールの設置精度等に影響を受けることなく溶接可能であり、作業効率及び溶接品質の向上を図ることができる可搬型溶接ロボットの溶接制御方法、溶接制御装置、可搬型溶接ロボット及び溶接システムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の上記目的は、可搬型溶接ロボットの溶接制御方法に係る下記（１）の構成により達成される。

[0009] （１） ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御方法であって、

溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、２箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する検知手段を介してセンシングするセンシング工程と、

前記センシング工程で得た検知データから開先形状情報を算出する開先形状情報算出工程と、

前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得工程と、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0010] 可搬型溶接ロボットの溶接制御方法に係る本発明の好ましい実施形態は、下記（２）～（１１）に関する。

[0011] （２） 前記開先形状検知位置と、前記ワーク上にあらかじめ定められた溶接線との交点を、溶接線位置検知点とし、隣接する前記溶接線位置検知点間を溶接するときの溶接の軌跡を溶接軌跡線とする場合において、

前記溶接線と前記溶接軌跡線との相対距離の最大値が、溶接ワイヤ径の2倍以下となるように前記開先形状検知位置を設定する、

上記（１）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0012] （３） 前記開先形状検知位置間で前記溶接条件の変化が生じる場合において、

前記開先形状検知位置ごとに取得された前記溶接条件の値にしたがい、前記開先形状検知位置間で、前記溶接条件を、直線状、ステップ状、曲線状のうち少なくとも１つで変化させるように制御する、

上記（１）又は（２）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0013] （４） 前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、

前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記3方向ごとの移動速度を算出し、

前記3方向ごとの移動速度によって、前記開先形状検知位置間の前記溶接速度を制御する、

上記（３）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0014] （５） 前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、

前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記3方向ごとの移動速度を算出し、

前記開先形状検知位置間の溶接距離又は移動時間を2以上の区間に分割し、各分割点の前記3方向ごとの移動速度によって、前記各分割点の溶接速度

を算出し、

前記分割点ごとの溶接速度を一定として、前記開先形状検知位置間の溶接速度をステップ状に変化するように制御する、

上記（３）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0015] （６） 前記ガイドレールの直線部と曲線部の境界領域、又は、前記ガイドレールの曲線部における曲率が変化する境界領域に、少なくとも１つの前記開先形状検知位置を設ける、

上記（２）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0016] （７） 前記境界領域に設けた前記開先形状検知位置の直前又は直後において、前記溶接条件を制御する区間を設ける、

上記（６）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0017] （８） 前記溶接条件として、ウィービング条件、溶接速度及び溶接電流のうち少なくとも１つを選択し、

前記開先形状検知位置間の前記開先形状情報をもとに、前記開先内の溶接金属が、溶接方向に対し一定の高さになるように、前記ウィービング条件、前記溶接速度及び前記溶接電流のうち少なくとも一つを制御する、

上記（１）～（７）のいずれか１つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0018] （９） 前記センシング工程は、前記開先形状検知位置における前記開先形状のセンシングに加え、前記ワークにおける前記開先が設けられる側のワーク表面、及び、前記ワークの溶接線方向におけるワーク端部のうち少なくとも１つのセンシングを含む、

上記（１）～（８）のいずれか１つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0019] （１０） 前記センシングは、タッチセンシングであって、

前記開先形状検知位置において、前記開先の横断面に沿って配置される検知点を、前記開先におけるルートギャップ及び両側の開先側面上に少なくとも５点設け、

前記検知点から得られる前記検知データをもとに前記開先形状情報を算出する、

上記（１）～（９）のいずれか１つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0020] （１１） 前記溶接線は、前記開先形状における両側の開先側面のいずれか一方の開先端である、

上記（２）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0021] また、本発明の上記目的は、可搬型溶接ロボットの溶接制御装置に係る下記（１２）の構成により達成される。

[0022] （１２） ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御装置であって、

溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、２箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する検知手段を介してセンシングするセンシング工程で得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、

前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御装置。

[0023] また、本発明の上記目的は、可搬型溶接ロボットに係る下記（１３）の構成により達成される。

[0024] （１３） ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する、
上記（１２）に記載の溶接制御装置によって制御される可搬型溶接ロボットであって、

前記ガイドレール上にセッティングされた状態で、溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、２箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボット。

[0025] また、本発明の上記目的は、可搬型溶接ロボットの溶接システムに係る下

記（１４）の構成により達成される。

[0026] （１４） ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する可搬型溶接ロボットと、前記可搬型溶接ロボットの動作を制御可能な溶接制御装置と、を有する溶接システムであって、

前記可搬型溶接ロボットは、溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、２箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を有し、

前記溶接制御装置は、前記センシングで得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と、

を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接システム。

発明の効果

[0027] 本発明の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法、溶接制御装置、可搬型溶接ロボット及び溶接システムによれば、開先に対してガイドレール及び可搬型溶接ロボットが設置された状態で得る開先形状検知位置での検知データに基づいて、開先形状情報を取得し、該開先形状情報に基づいて溶接条件を設定するため、開先形状検知位置ごとの開先形状の変化やガイドレールの設置誤差で生ずるガイドレールと開先の位置関係の変化は、検知データ内に含まれることで考慮され、正確な数値に基づいて溶接条件を取得することができる。

これにより、開先形状の変化やガイドレール設置精度に影響を受けることのない溶接制御により溶接することができる。この結果、精度の高い溶接を行うことができる。なお、溶接作業面では、開先形状を形成する時のワークの組み付け作業が容易になり、また、ガイドレール及び可搬型溶接ロボットの位置調整が容易になり、作業効率の良い溶接を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図１]図１は、本発明の溶接システムの一実施形態の概略図である。

[図２]図２は、図１に示す可搬型溶接ロボットの概略側面図である。

[図3]図3は、図2に示す可搬型溶接ロボットの斜視図である。

[図4A]図4Aは、図3に示す可搬型溶接ロボットによる開先形状検知位置を説明するための概略斜視図である。

[図4B]図4Bは、蛇行した開先に対し、直線状のガイドレールを適用した可搬型溶接ロボットの斜視図である。

[図4C]図4Cは、図4Bにおける直線状のガイドレールと開先の位置関係を示す概念を説明するための説明図である。

[図4D]図4Dは、蛇行した開先に対し、曲線状のガイドレールを適用した可搬型溶接ロボットの斜視図である。

[図4E]図4Eは、図4Dにおける曲線状のガイドレールと開先の位置関係を示す概念を説明するための説明図である。

[図5]図5は、図3に示す可搬型溶接ロボットによるセンシングを説明するための概略側面図である。

[図6]図6は、図3に示す可搬型溶接ロボットによるセンシングを説明するための概略斜視図である。

[図7A]図7Aは、本発明の溶接制御方法における溶接速度の変化を示すグラフであり、溶接速度が曲線状になるように制御する場合である。

[図7B]図7Bは、本発明の溶接制御方法における溶接速度の変化を示すグラフであり、溶接速度が直線状になるように制御する場合である。

[図7C]図7Cは、本発明の溶接制御方法における溶接速度の変化を示すグラフであり、溶接速度がステップ状になるように制御する場合である。

[図8A]図8Aは、直線状のガイドレール上における可搬型溶接ロボットの溶接トーチの溶接ワイヤ先端が、溶接線位置検知点間を移動するときの溶接速度及び溶接距離の説明図である。

[図8B]図8Bは、図8Aに示すV I I I部分を拡大した、溶接速度を説明するための説明図である。

[図8C]図8Cは、直線状のガイドレール上における可搬型溶接ロボットの溶接トーチの溶接ワイヤ先端が、溶接線位置検知点間を移動するときの移動距

離の説明図である。

[図8D]図8Dは、本実施例を適用したときの溶接部の断面形状であって、本実施例の効果を説明するための図である。

[図8E]図8Eは、本実施例を適用しないときの溶接部の断面形状であり、本実施例を適用しないときの溶接不良を説明するための図である。

[図9A]図9Aは、曲線状のガイドレール上における可搬型溶接ロボットの溶接トーチの溶接ワイヤ先端が、溶接線位置検知点間を移動するときの溶接速度及び溶接距離の説明図である。

[図9B]図9Bは、図9Aに示すIX部分を拡大した、溶接速度を説明するための説明図である。

[図9C]図9Cは、図9BをXY平面で示した、溶接速度を説明するための説明図である。

[図9D]図9Dは、曲線状のガイドレール上における可搬型溶接ロボットの溶接トーチの溶接ワイヤ先端が、溶接線位置検知点間を移動するときの移動距離の説明図である。

[図10]図10は、図3に示す溶接ロボットが角形鋼管に取付けられた場合の斜視図である。

[図11]図11は、図10を真上から見たときのガイドレール及び角形鋼管の1/4角部の領域における、ガイドレールと開先の位置関係を説明する図である。

[図12]図12は、本発明の溶接制御方法における可搬型溶接ロボットの溶接トーチの溶接ワイヤ先端の移動距離（＝溶接距離）を均等分割したときの、溶接速度との関係を示すグラフである。

[図13]図13は、本発明の溶接制御方法におけるウィービングを説明するための概略斜視図である。

[図14]図14は、本発明の溶接制御方法において、溶接速度とY方向の移動速度（＝ウィービング速度）及びウィービング幅を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、本発明の一実施形態に係る溶接システムについて図面を参照しつつ説明する。なお、本実施形態は、可搬型溶接ロボットを用いた場合の一例であり、本発明の溶接システムは、本実施形態の構成に限定されるものではない。

[0030] <溶接システムの構成>

図1は、本実施形態に係る溶接システムの構成を示す概略図である。溶接システム50は、図1に示すように、可搬型溶接ロボット100と、送給装置300と、溶接電源400と、シールドガス供給源500と、制御装置600と、を備えている。

[0031] [制御装置]

制御装置600は、ロボット用制御ケーブル610によって可搬型溶接ロボット100と接続され、電源用制御ケーブル620によって溶接電源400と接続されている。

制御装置600は、あらかじめ可搬型溶接ロボット100の動作パターン、溶接開始位置、溶接終了位置、溶接条件、ウィーピング動作等を定めたティーチングデータを保持するデータ保持部601を有し、このティーチングデータに基づいて可搬型溶接ロボット100及び溶接電源400に対して指令を送り、可搬型溶接ロボット100の動作及び溶接条件を制御する。

また、制御装置600は、後述するセンシングにより得られる検知データから開先形状情報を算出する開先形状情報算出部602と、該開先形状情報をもとに、上記ティーチングデータの溶接条件を補正して取得する溶接条件取得部603と、を有する。そして、上記開先形状情報算出部602と溶接条件取得部603により、制御部604が構成されている。

[0032] さらに、制御装置600は、ティーチングを行うためのコントローラとその他の制御機能をもつコントローラが一体となって形成されている。ただし、制御装置600は、これに限られるものではなく、ティーチングを行うためのコントローラ及びその他の制御機能をもつコントローラの2つに分ける等、役割によって、複数に分割しても良いし、可搬型溶接ロボット100に

制御装置 600 を含めても良い。また、本実施形態においては、ロボット用制御ケーブル 610 及び電源用制御ケーブル 620 を用いて信号が送られているが、これに限られるものではなく、無線で送信してもよい。なお、溶接現場における使用性の観点から、ティーチングを行うためのコントローラとその他の制御機能をもつコントローラの 2 つに分けるのが好ましい。

[0033] [溶接電源]

溶接電源 400 は、制御装置 600 からの指令により、消耗電極（以下、「溶接ワイヤ」とも言う）211 及びワーク W₀ に電力を供給することで、溶接ワイヤ 211 とワーク W₀ との間にアークを発生させる。溶接電源 400 からの電力は、パワーケーブル 410 を介して送給装置 300 に送られ、送給装置 300 からコンジットチューブ 420 を介して溶接トーチ 200 に送られる。そして、図 2 に示すように、溶接トーチ 200 先端のコンタクトチップを介して、溶接ワイヤ 211 に電力が供給される。なお、溶接作業時の電流は、直流又は交流であっても良く、また、その波形は特に問わない。よって、電流は、矩形波や三角波などのパルスであっても良い。

[0034] また、溶接電源 400 は、例えば、パワーケーブル 410 がプラス（+）電極として溶接トーチ 200 側に接続され、パワーケーブル 430 をマイナス（-）電極としてワーク W₀ に接続される。なお、これは逆極性で溶接を行う場合であり、正極性で溶接を行う場合は、溶接電源 400 は、プラス（+）のパワーケーブル 430 を介してワーク W₀ 側に接続され、マイナス（-）のパワーケーブル 410 を介して、溶接トーチ 200 側と接続されていれば良い。

[0035] [シールドガス供給源]

シールドガス供給源 500 は、シールドガスが封入された容器及びバルブ等の付帯部材から構成される。シールドガス供給源 500 から、シールドガスが、ガスチューブ 510 を介して送給装置 300 へ送られる。送給装置 300 に送られたシールドガスは、コンジットチューブ 420 を介して溶接トーチ 200 に送られる。溶接トーチ 200 に送られたシールドガスは、溶接

トーチ 200 内を流れて、ノズル 210 にガイドされて、溶接トーチ 200 の先端側から噴出する。本実施形態で用いるシールドガスとしては、例えば、アルゴン (Ar) や炭酸ガス (CO₂) 又はこれらの混合ガスを用いることができる。

[0036] [送給装置]

送給装置 300 は、溶接ワイヤ 211 を繰り出して溶接トーチ 200 に送る。送給装置 300 により送られる溶接ワイヤ 211 は、特に限定されず、ワーク W の性質や溶接形態等によって選択され、例えば、ソリッドワイヤやフラックス入りワイヤ（以下、「FCW」とも言う）が使用される。また、溶接ワイヤの材質も問わず、例えば、軟鋼でも良いし、ステンレスやアルミニウム、チタンといった材質でも良い。さらに、溶接ワイヤの線径も特に問わない。

[0037] なお、本実施形態において、溶接作業性の観点から FCW を適用することが好ましく、塩基性の FCW であればなお好ましい。さらに、塩基性の FCW を適用する場合は、正極性とすることが好ましい。また、本実施形態において好ましい線径は、上限は 1.6 mm であり、下限は 0.9 mm である。

[0038] 本実施形態に係るコンジットチューブ 420 は、チューブの外皮側にパワーケーブルとして機能するための導電路が形成され、チューブの内部に、溶接ワイヤ 211 を保護する保護管が配置され、シールドガスの流路が形成されている。ただし、コンジットチューブ 420 は、これに限られるものではなく、例えば、溶接トーチ 200 に溶接ワイヤ 211 を送給するための保護管を中心にして、電力供給用ケーブルやシールドガス供給用のホースを束ねたものを用いることもできる。また、例えば、溶接ワイヤ 211 及びシールドガスを送るチューブと、パワーケーブルとを個別に設置することもできる。

[0039] [可搬型溶接ロボット]

可搬型溶接ロボット 100 は、図 2 及び図 3 に示すように、ガイドレール 120 と、ガイドレール 120 上に設置され、該ガイドレール 120 に沿っ

て移動するロボット本体 110 と、ロボット本体 110 に載置されたトーチ接続部 130 と、を備える。ロボット本体 110 は、主に、ガイドレール 120 上に設置される本体部 112 と、この本体部 112 に取り付けられた固定アーム部 114 と、この固定アーム部 114 に回転可能（矢印 R_1 方向に回転可能）な状態で取り付けられた可動アーム部 116 と、から構成される。

[0040] トーチ接続部 130 は、クランク 170 を介して可動アーム部 116 に取り付けられている。トーチ接続部 130 は、溶接トーチ 200 を固定するトーチクランプ 132 及びトーチクランプ 134 を備えている。また、本体部 112 には、溶接トーチ 200 が装着される側とは反対側に、送給装置 300 と溶接トーチ 200 を繋ぐコンジットチューブ 420 を支えるケーブルクランプ 150 が設けられている。

[0041] また、本実施形態においては、ワーク W と溶接ワイヤ 211 間に電圧を印加し、溶接ワイヤ 211 がワーク W に接触したときに生じる電圧降下現象を利用して、開先 10 の表面等をセンシングする、タッチセンサを検知手段とする。検知手段は、本実施形態のタッチセンサに限られず、画像センサもしくはレーザーセンサ等、又はこれら検知手段の組み合わせを用いても良いが、装置構成の簡便性から本実施形態のタッチセンサを用いることが好ましい。

[0042] ロボット本体 110 の本体部 112 は、図 2 の矢印 X で示すように、紙面に対して垂直方向、すなわち、ロボット本体 110 がガイドレール 120 に沿って移動する X 方向に駆動可能である。また、本体部 112 は、 X 方向に対し垂直となる開先 10 の深さ方向に移動する Z 方向にも駆動可能である。また、固定アーム部 114 は、本体部 112 に対して、スライド支持部 113 を介して、 X 方向に対し垂直となる開先 10 の幅方向である Y 方向へ駆動可能である。

さらに、溶接トーチ 200 が取り付けられたトーチ接続部 130 は、クランク 170 が図 3 の矢印 R_2 に示すように回転することで、 X 方向において前後に首振り駆動可能である。また、可動アーム部 116 は、矢印 R_1 に示すよ

うに、固定アーム部 114 に対して回転可能に取り付けられており、最適な角度に調整して固定することができる。

[0043] 以上のように、ロボット本体 110 は、その先端部である溶接トーチ 200 を 3 つの自由度で駆動可能である。ただし、ロボット本体 110 は、これに限られるものでなく、用途に応じて、任意の数の自由度で駆動可能としてもよい。

[0044] 以上のように構成されていることで、トーチ接続部 130 に取り付けられた溶接トーチ 200 の先端部は、任意の方向に向けることができる。さらに、ロボット本体 110 は、ガイドレール 120 上を、図 2 において X 方向に駆動可能である。溶接トーチ 200 は、Y 方向に往復移動しながら、ロボット本体 110 が X 方向に移動することより、ウィービング溶接を行うことができる。また、クランク 170 による駆動により、例えば、前進角又は後退角を設ける等の施工状況に応じて、溶接トーチ 200 を傾けることができる。

[0045] ガイドレール 120 の下方には、例えば磁石などの取付け部材 140 が設けられおり、ガイドレール 120 は、取付け部材 140 によりワーク W₀ に対して着脱が容易に構成されている。可搬型溶接ロボット 100 をワーク W₀ にセットする場合、オペレータは可搬型溶接ロボット 100 の両側把手 160 を掴むことにより、可搬型溶接ロボット 100 をワーク W₀ 上に容易にセットすることができる。

[0046] <溶接条件の制御方法>

続いて、本実施形態に係る溶接システム 50 を用いた溶接条件の制御方法について詳細に説明する。

[0047] [溶接線位置検知点 T_n 間の溶接速度の制御]

図 4 A は、ワーク W₀ の開先部位の斜視図を示し、開先 10 がその長手方向である溶接方向 X に蛇行し、さらに、開先 10 の幅方向 Y にルートギャップ G が変化した開先 10 を溶接するときの模式斜視図である。また、図 4 B は、図 4 A のような蛇行した開先 10 に対し、直線状のガイドレール 120 を

適用した可搬型溶接ロボット100を設置したときの模式的な斜視図である。図4Cは、開先10及びガイドレール120の平面上における位置関係、及び開先形状検知位置 P_n を示す概念図である。

[0048] 開先10を溶接する際には、溶接開始前に、ガイドレール120に沿って移動するロボット本体110を用いて、溶接時の溶接条件を取得する。詳細には、例えば、制御装置600の動作信号に基づいて、ロボット本体110を駆動して開先形状の自動センシングを開始し、開先形状情報を算出して、さらに溶接条件を演算し、自動ガスシールドアーク溶接を実現する。

[0049] センシングは、上述したタッチセンサによって、開先形状、板厚、始末端等のセンシング工程を、以下のように実施する。

例えば、図4Aに示すような、開先10の溶接開始点 10_s から溶接終了点 10_e までの溶接区間において、開先が蛇行し、ルートギャップGも変化して、場所ごとに開先形状が異なるような場合を考える。このような場合、センシング工程において、逆台形状の断面形状である開先10の断面形状を、開先形状検知位置 P_n ($P_0, P_2, \dots, P_5$)として複数箇所、本実施形態では6箇所設ける。詳細には、溶接開始点 10_s に最も近接する開先形状検知位置 P_n を第一開先形状検知位置 P_s (P_0)とし、溶接終了点 10_e に最も近接する開先形状検知位置 P_n を第二開先形状検知位置 P_e (P_5)、として、ロボット本体110がガイドレール120上を移動しながらタッチセンサによりセンシングを行う。

[0050] 次に、第一開先形状検知位置 P_s と第二開先形状検知位置 P_e の設定の仕方について、より詳しく説明する。

溶接開始点 10_s 側に最も近接する第一開先形状検知位置 P_s と、溶接終了点 10_e 側に最も近接する第二開先形状検知位置 P_e は、ワーク端部 W_e 間の距離Lに対し、第一開先形状検知位置 P_s と第二開先形状検知位置 P_e の差である $|P_s - P_e|$ が、下記式を満たすように設定される。

$$0.5 \leq |P_s - P_e| / L \leq 1$$

このように、第一開先形状検知位置 P_s 及び第二開先形状検知位置 P_e の設

定位置を規定することで、検知データの精度を高める。なお、上記「 $|P_s - P_e|/L$ 」の値は、0.6以上であることが好ましく、0.7以上であることがより好ましく、0.8以上であることが更に好ましい。

なお、第一開先形状検知位置 P_s は、溶接開始点近傍に設定することが好ましく、第二開先形状検知位置 P_e は、溶接終了点近傍に設定することが好ましい。

[0051] なお、第一開先形状検知位置 P_s 及び第二開先形状検知位置 P_e の位置設定は、ティーチング等によって、あらかじめ制御装置600に入力しても良い。また、センシングによって自動設定してもよい。また、センシングによってワーク端部 W_e 間の距離 L を算出し、上記式を満たす範囲内で第一開先形状検知位置 P_s 及び第二開先形状検知位置 P_e を自動で決めても良い。

[0052] センシング工程の後、センシング工程で得た各開先形状検知位置 P_n ($P_0 \sim P_5$)での開先断面形状の検知データから、開先形状情報、すなわち、図5に示すような、開先形状の開先角度 θ_1 、 θ_2 、板厚 H_1 、 H_2 、ルートギャップ G 、ワーク端部 W_e 間の距離 L 等を算出する（開先形状情報算出工程）。そして、各開先形状検知位置 P_n ($P_0 \sim P_5$)における開先形状の検知データをもとに、各開先形状検知位置 P_n ($P_0 \sim P_5$)の溶接条件を、制御装置600内で生成又はあらかじめ設定した溶接条件に対して補正し（溶接条件取得工程）、実際に溶接を実施する際の溶接条件を取得する。そして、この溶接条件を使って、ロボット本体110を駆動し、溶接をスタートさせる。

[0053] 開先形状検知位置 P_n の間隔は、以下の条件を満たすように設定される。例えば、図4Bに示すように、図4Aに示した開先10が蛇行し、ルートギャップ G が変化して、場所ごとに開先形状の異なる溶接部を、直線状のガイドレール120を使って溶接する場合で説明する。また、この場合の開先形状検知位置 P_n の間隔を決める条件の詳細について、図4Cにより説明する。まず、ワーク W_e 上の開先10における任意の位置に、溶接線 WL をあらかじめ定める。例えば、曲線状の溶接線 WL と、ガイドレール120（具体的には、レール中心 R_e ）との相対的な距離 L_1 は変化する。開先形状検知位置 P_n と

溶接線WLとの交点を、溶接線位置検知点 T_n ($T_0 \sim T_5$)とする。この溶接線位置検知点 T_n は、開先形状検知位置 P_n 内において検知データを得るための重要な点である。また、隣接する溶接線位置検知点 T_n 間を実際に溶接するときの溶接の軌跡を、溶接軌跡線TWLとし、溶接軌跡線TWLに溶接ワイヤ211先端が沿うようにロボット本体110を駆動させる。なお、直線状のガイドレール120では、溶接軌跡線TWLは直線となる。

[0054] このとき、溶接線WLと溶接軌跡線TWLとの相対距離 Δd が生じる。この相対距離 Δd のうち、相対距離の最大値 $\max \Delta d$ を可能な限り小さくするように間隔を設定することが好ましい。ここで、相対距離の最大値 $\max \Delta d$ を小さくするためには、開先形状検知位置 P_n を増やすことが考えられるが、開先形状検知位置 P_n を増やすことに伴ってセンシング効率が低下する。本実施形態においては、溶接線WL上の溶接線位置検知点 T_n を設定する場合、例えば、溶接線WLが大きく湾曲する部分においては、溶接線WLに対する誤差を小さくするべく、開先形状検知位置 P_n の間隔を狭め、溶接線WLが比較的湾曲していない直線状の部分では間隔を空けることが好ましい。なお、相対距離 Δd は、3次元空間における相対的距離を考慮して与えられる。

[0055] 続いて、図4D及び図4Eは、図4Aに示した開先10が蛇行し、ルートギャップGが変化して、場所ごとに開先形状の異なる溶接部を、曲線状のガイドレール120を使って溶接する場合である。この場合、ロボット本体110は、ガイドレール120の曲率中心Oを中心に走行することになり、このときの溶接軌跡線TWLは、ガイドレール120の曲率に影響して曲線となる。

この場合において、図4Dのような曲線状のガイドレール120を適用した開先形状検知位置 P_n の間隔は、直線状のガイドレール120を適用した場合と同様、図4Eに示すとおり設定される。溶接軌跡線TWLは、ガイドレール120の曲率の影響を受けて曲線となるが、図4Cに示す直線状のガイドレール120の場合と同じく、相対距離の最大値 $\max \Delta d$ を可能な限り小さくするように間隔を設定することがやはり好ましい。

[0056] 本実施形態においては、相対距離の最大値 $m a \times \Delta d$ が、溶接ワイヤ径の2倍以下となるように開先形状検知位置 P_n を設定することが好ましく、溶接ワイヤ径以下となるように開先形状検知位置 P_n を設定することがより好ましい。具体的には、溶接ワイヤ径 1.2 mm を使用した場合は、相対距離の最大値 $m a \times \Delta d$ が、2 mm 以下となるように開先形状検知位置 P_n を設けることが好ましい。相対距離の最大値 $m a \times \Delta d$ が、溶接ワイヤ径の2倍以下に設定することは、すなわち、本来、溶接すべき溶接線 WL に対して良好な溶接品質が確保できる裕度は、溶接ワイヤ径の2倍以内の誤差であることを意味している。

[0057] また、溶接線 WL は、ワーク W_0 上において、開先 10 の断面形状のうち、図 4 A、図 4 B 及び図 5 に示す、上端角部分である開先端縁 11₀、12₀。(ワーク上面 W_u 、 W_i と開先側面 11、12 との交差部)、又は、ルート部 13 の両端のうち、いずれか一方であることが、明確性の観点から好ましい。また、開先端縁 11₀、12₀ を溶接線 WL とすることは、目違いや溶接変形、寸法不良等で現れる開先形状の変化を精度良く把握することができるので、明確性が向上し、より好ましい。

なお、図 4 C においては、溶接線 WL は、開先 10 の内部(中心)を通るように設定されている。

[0058] 本実施形態において、開先形状のデータを得るためのタッチセンサのセンシング方法は特に問わないが、以下のようにすることができる。

[0059] タッチセンサを用いた開先 10 のセンシング方法について、図 5 を参照して説明する。

[0060] タッチセンサによる検知点は、例えば、A0 点からスタートし、A1 点、A2 点、・・・、A14 点の順に、図中矢印で示す方向に移動しながらセンシングを行う。このセンシングでは、下記の項目を検知する。

[0061] [1] A0 点からスタートし、A1 点及び A3 点の検知により、開先 10 の一端側のワーク表面 W_u の位置を検知する。

[2] A4' 点では、A1 点及び A3 点で検知したワーク表面 W_u の位置よ

りも、設定した距離だけ下がったとき、開先の中であると判断し、ワーク表面 W_0 の直下近傍の高さまで戻り、A 5 点の検出に向かう。

[3] A 6 点及びA 9 点の検知により、開先 1 0 の一端側の開先側面 1 1 の仮の傾斜角度 θ_1 を検知する。

[4] A 5 点及びA 8 点の検知により、開先 1 0 の他端側の開先側面 1 2 の仮の傾斜角度 θ_2 を検知する。

[5] 仮の傾斜角度 θ_1 , θ_2 の検知により、開先 1 0 のルート部 1 3 が確実に検知できる位置を決めてから、ルート部 1 3 のA 1 0 点を検知する。例えば、実際にはA 8 点から所定の寸法だけ下方側の位置をルート部 1 3 として設定する。

[6] A 1 点、A 3 点及びA 1 0 点の検知により、板厚 H_1 を算出し、板厚 H_1 を利用して、開先 1 0 のルート部 1 3 に近いA 1 1 点及びA 1 2 点を検知し、A 1 2 点及びA 6 点の検知により、一端側の開先側面 1 1 のより正確な傾斜角度 θ_1 を検知する。また、A 1 1 点及びA 5 点の検知により、他端側の開先側面 1 2 における、より正確な傾斜角度 θ_2 を決定する。

[0062] [7] A 6 点及びA 1 2 点を結ぶ線（すなわち、一端側の傾斜面）、並びにA 5 点及びA 1 1 点を結ぶ線（すなわち、他端側の傾斜面）と、A 3 点、A 1 点を結ぶ線と平行でA 1 0 点を通る直線との交点から、ルートギャップ G を算出する。

[8] また、開先 1 0 の他端側に開先側面 1 2 を構成する壁があるか否かをA 1 3 点で検知する。なお、本実施形態において壁は存在しない平継手の開先としている。

[9] A 5 点及びA 1 1 点を結ぶ線の延長線上を過ぎても壁の検知がなければ、壁がなしであると判断して、そのまま進み、A 1 4 点で他端側のワーク表面 W_1 を検知する。次に、A 1 4 点及びA 1 0 点の検知により、板厚 H_2 を算出し、板厚 H_1 と板厚 H_2 の差より、開先 1 0 の両側の段差 D を算出する。

[10] 段差 D には閾値があらかじめ設けられており、それ以上であると、平継手の開先ではなくT継手の開先と見なして、T継手の溶接条件を選定

する。

[11] 段差Dが閾値以下では、平継手の目違いと見なし、平継手の溶接条件を選定する。

[0063] なお、センシングの手順は、図示の台形状の開先10に限るものではなく、その他に、例えばV字型の開先でも同様の手順で開先形状を検知することができる。また、センシングにおける検知点間の検知ピッチ S_p は、特に限定されるものではなく適宜設定することができる。

[0064] また、開先10の断面形状の情報を得るための検知点は、開先形状情報として十分な精度を保つ必要がある。このためには、検知点の数が5点以上であることが好ましい。また、検知点の位置の選定によって、より高い精度で検知データを得ることができる。この5点の検知点は、例えば、図5に示すように、左右両側の開先側面11, 12の上下端を含む4箇所の各角部分 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 と、ルート部13の部分 C_5 に1点取ると良い。また、センシング効率の観点から、開先形状情報を得るための検知点は10点以下であることが好ましい。

[0065] このようなタッチセンサのセンシングにより、開先形状検知位置 P_n の開先形状情報を算出するに必要な検知データを得るとともに、ロボット本体110の位置と開先形状検知位置 P_n の相対距離も検知データとして得ることができる。

[0066] なお、センシング工程は、上記の開先形状検知位置 P_n における開先形状のセンシングに加え、開先10の周辺の形状についてもセンシングすることが好ましい。具体的には、図6に示すように、溶接ワイヤ211の先端が、X方向におけるワーク W_0 から所定距離離れた位置と、ワーク W_0 に接する位置との間を動くとともに、ワーク W_0 面内をY方向に動くことで、ワーク W_0 における開先10が設けられる側のワーク上面 W_u , W_i の検知、及びワーク W_0 の溶接線方向におけるワーク端部 W_e のセンシングを実施することが好ましい。開先10の周辺の形状についてのセンシングにより、ワーク W_0 及びワーク端部 W_e の位置とロボット本体110位置との相関距離を検知データとして取

得できる。

[0067] 以上のように、図4Aに示した開先10が蛇行し、ルートギャップGが変化して、場所ごとに開先形状が異なり、さらに、ガイドレールの設置誤差が生ずるような溶接部に対して、可搬型溶接ロボット100で精度よく自動溶接するための必要な検知データは、本実施例のセンシング工程で得ることができる。

[0068] 制御装置600において、センシング工程で得た検知データから開先形状情報を算出し、開先形状情報をもとに溶接条件を取得する。取得する溶接条件には、溶接速度、溶接電流、溶接電圧に加えて、開先10内部でのアーク点の狙い位置（後述するように、アーク点の狙い位置は溶接ワイヤ211先端の位置と同じと見なしている）、溶接金属の積層数などが含まれる。この溶接条件を用いて溶接制御を行うときは、図7A～図7Cに示すグラフのように、溶接条件を制御することができる。例えば、開先形状検知位置 P_n 間で溶接条件の1つである溶接速度 W_n の変化が生じる場合、開先形状検知位置 P_n ごとに取得された溶接速度 W_n （溶接条件）の値にしたがい、隣接する開先形状検知位置 P_n 間（例えば P_1 と P_2 間）において、溶接速度 W_n を、時間の経過に伴い所定の形状で変化させる。

[0069] 図7Aに示す場合は、開先形状検知位置 P_1 から開先形状検知位置 P_2 に移動する間の溶接速度 W_n を曲線状で変化させるように制御する。図7Bに示す場合は、開先形状検知位置 P_1 から開先形状検知位置 P_2 に移動する間の溶接速度 W_n を直線状で変化させるように制御する。図7Cに示す場合は、開先形状検知位置 P_1 から開先形状検知位置 P_2 に移動する間の溶接速度 W_n をステップ状、すなわち階段状で変化させるように制御する。

[0070] 上記によれば、開先形状検知位置 P_n 間で溶接条件の変化が生じる場合において、開先形状検知位置 P_n ごとに取得された溶接条件の値にしたがい、開先形状検知位置 P_n 間で、溶接条件を、直線状、ステップ状、曲線状のうち少なくとも1つで変化させるように制御している。そのため、開先形状検知位置 P_n 間で溶接条件が大きく変化した場合でも、溶接条件を徐々に変えることが

でき、開先形状検知位置 P_n 間での溶接条件の急激な変化を回避して滑らかな溶接が可能になる。この結果、精度の高い溶接を実施することができる。

[0071] [ガイドレールが直線状の場合における3方向ごとの移動速度の求め方]

続いて、図4B及び図4Cで示したガイドレール120が直線状の場合における、上述した溶接線位置検知点 T_n 間の溶接速度の制御について、図8A、図8B及び図8Cを参照して、溶接速度 W の求め方を最初に説明する。その後、上記X方向、Y方向、Z方向の3方向ごとの移動速度の求め方を説明する。

[0072] 図8Aは、直線状のガイドレール120上におけるロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端が、溶接線位置検知点 T_n 間を移動するときの溶接速度 W 及び溶接距離 DW_n の説明図である。また、図8Bは、図8Aに示す V_{II} 部分を拡大し、溶接線位置検知点 T_n 間 ($T_{n-1} \sim T_n$) の任意点における溶接速度 W を説明するための説明図である。図8Cは、溶接距離 DW_n と、X方向、Y方向及びZ方向の3方向における移動距離 (VDX_n , VDY_n , VDZ_n) との関係を示した説明図である。

[0073] 図8Aにおいては、溶接線位置検知点 T_n 、溶接線位置検知点 T_n の1つ前の溶接線位置検知点 T_{n-1} 、及び溶接線位置検知点 T_n の1つ後の溶接線位置検知点 T_{n+1} の3点間を、検知点 T_{n-1} では溶接速度 W_{n-1} 、検知点 T_n では溶接速度 W_n 、そして検知点 T_{n+1} では溶接速度 W_{n+1} と変化しつつ、ロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端が移動するものとする。

なお、ロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端は、実際の溶接で発生する溶接ワイヤ211先端のアーク点と同じと見なしており、後述する溶接速度、溶接距離、溶接時間は、すなわち、溶接ワイヤ211先端の移動速度、移動距離、移動時間と同義としている。

[0074] まず、速度、加速度、移動距離の関係を表す基本的な考え方は、下記基本式(1)～(3)により表すことができる。

[0075]

[数1]

$$v = v_0 + \alpha t \quad \cdots (1)$$

[数2]

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \cdots (2)$$

[数3]

$$v^2 - v_0^2 = 2\alpha s \quad \cdots (3)$$

ただし、 v ：速度、 v_0 ：初速度、 α ：加速度、 x ：移動距離、 x_0 ：初期位置、 s ：変位距離、 t ：時間

[0076] 以下、図8A、図8B及び図8C、並びに式に示す符号及び記号について説明する。

[0077] W_{n-1} ：溶接線位置検知点 T_{n-1} での溶接速度であり、溶接条件取得部603での算出値

W_n ：溶接線位置検知点 T_n での溶接速度であり、溶接条件取得部603での算出値

W_{n+1} ：溶接線位置検知点 T_{n+1} での溶接速度であり、溶接条件取得部603での算出値

なお、 W_{n-1} 、 W_n 、 W_{n+1} は、それぞれの開先形状検知位置(P_{n-1} 、 P_n 、 P_{n+1})の開先形状情報をもとに、各開先形状検知位置 P_n で溶接開先内の溶接金属の高さが同じになるように、溶接条件取得部603で算出される。

[0078] VDX_n 、 VDY_n 、 VDZ_n ： $T_{n-1} \sim T_n$ の2点間の3方向(X方向、Y方向、Z方向)のロボット本体110の溶接ワイヤ211先端の移動距離であり、センシング工程で取得する検知データ

VX 、 VY 、 VZ ：溶接線位置検知点 T_{n-1} を溶接スタートしてから t 秒後の3方向(X方向、Y方向、Z方向)のロボット本体110の溶接ワイヤ2

1 1 先端の移動速度

なお、 VDX_n 及び VX は、ガイドレール 1 2 0 上を走行するロボット本体

1 1 0 の走行距離及び走行速度と同じになる。

DW_n : 溶接線位置検知点 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間の溶接距離

t_n : 溶接線位置検知点 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間の溶接時間

a : 溶接速度が溶接線位置検知点 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間で変化するときの加速度

W : 溶接線位置検知点 T_{n-1} を溶接スタートしてから t 秒後の溶接速度

[0079] 以上より、溶接速度を求めてから、ロボット本体 1 1 0 の 3 方向（X 方向，Y 方向，Z 方向）の溶接ワイヤ 2 1 1 先端の移動速度を制御する数式を、下記式により求めることができる。

[0080] 図 8 C から、 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間の溶接距離 DW_n は、 VDX_n ， VDY_n ， VDZ_n の合成により次式で表される。

[数4]

$$DW_n = (VDX_n^2 + VDY_n^2 + VDZ_n^2)^{1/2} \dots (4)$$

[0081] 上記より溶接距離 DW_n が求められ、 T_{n-1} 及び T_n での溶接速度 W_{n-1} ， W_n も既知であるため、2 点間で変化する溶接速度の加速度 a は、上記基本式（3）式から、次式により求められる。

[数5]

$$a = \frac{W_n^2 - W_{n-1}^2}{2DW_n} \dots (5)$$

[0082] 上記により、2 点間の加速度 a が既知となり、溶接線位置検知点 T_{n-1} をスタートしてから t 秒後の溶接速度 W は、上記基本式（1）から、次式で求められる。

[数6]

$$W = W_{n-1} + at \quad \cdots (6)$$

[0083] また、溶接線位置検知点 T_{n-1} 点をスタートしてから t 秒後の3方向（X方向、Y方向、Z方向）の溶接ワイヤ211先端の各移動速度（ VX 、 VY 、 VZ ）は、図8Bに示すように、溶接速度 W の3方向の速度成分となる。各方向の速度成分は、溶接距離 DW_n に対する各3方向の移動距離 VDX_n 、 VDY_n 、 VDZ_n の割合に、溶接速度 W を乗じた下記式により表される。

[0084] [数7]

$$VX = \frac{VDX_n}{DW_n} \cdot W \quad \cdots (7)$$

[数8]

$$VY = \frac{VDY_n}{DW_n} \cdot W \quad \cdots (8)$$

[数9]

$$VZ = \frac{VDZ_n}{DW_n} \cdot W \quad \cdots (9)$$

[0085] 以上により、 $T_{n-1} \sim T_n$ の2点間において、溶接線位置検知点 T_{n-1} を溶接速度 W_{n-1} で溶接スタートしてから、溶接線位置検知点 T_n で溶接速度 W_n に達するように、ロボット本体110の3方向の移動速度（ VX 、 VY 、 VZ ）を制御する、式（7）、式（8）及び式（9）を得ることができる。

[0086] このように、隣り合う開先形状検知位置 P_n 間で、あらかじめロボット本体110の3方向の移動速度（ VX 、 VY 、 VZ ）が計算できるので、データ保持部601に計算結果を保持して、計算結果に基づいてロボット本体110の駆動を制御する。この結果、ロボット本体110の溶接ワイヤ211先

端（実際の溶接でアーク点と見なした位置）は、これらの式を適用することで、図 7 B に示すような溶接速度 W_n の変化となり、 $T_{n-1} \sim T_n$ の 2 点間の溶接開先内では、開先形状の変化に合わせて溶接速度 W_n が変化し、溶接開先内の溶接金属の高さは一定に保持される。

[0087] ここで、本実施例の効果について図 8 D を用いて説明する。図 8 D は、本実施例を適用したときの溶接部の断面形状であって、本実施例の効果を説明するための図である。図 8 D においては、図 4 A で示す溶接開始側の開先形状検知位置 P_0 (P_s) と溶接終了位置側の開先形状検知位置 P_5 (P_e) の溶接後の断面形状を、代表例として比較している。なお、図中の丸数字 1 ~ 3 は溶接の順番を示しており、開先 10 の中の境界線は溶接金属の境界を示している。

[0088] 図に示すように、開先形状検知位置 P_0 と P_5 ではギャップ G が変化し、開先形状は異なっているが、本実施例では同じ溶接順番の溶接金属の高さ (D_1 , D_2 , D_3) をギャップ G の大きさに関わらず、開先形状検知位置 P_0 と P_5 で一定にすることができる。そして、他の開先形状検知位置 $P_1 \sim P_4$ でも同じように、同じ溶接順番の溶接金属の高さを一定にすることができる。つまり、開先形状検知位置 P_n ($P_0 \sim P_5$) で溶接開先内の溶接金属の高さが同じになるように溶接速度が設定され、開先形状検知位置 P_n 間では、上述したロボット本体 110 の 3 方向の移動速度の制御式である式 (7)、式 (8) 及び式 (9) によって、隣り合う開先形状検知位置 P_n の間をスムーズに溶接速度が変化することで、隣り合う開先形状検知位置 P_n の間でも、開先内で一定した溶接金属の高さが得られることになる。

[0089] この結果、最終の仕上げ（図中の丸数字 3 の溶接ビード）では、溶接長さ全長に渡ってギャップ G の大きさに関わらず、ビード幅 m は、アンダーカット、オーバーラップ欠陥を発生させることなく開先幅と同幅以上となり、余盛高さ h も、ギャップ G の大きさに関わらず、溶接品質基準に合格する高さを確保することができ、良好な溶接品質で精度の高い溶接を実施することができる。また、開先形状の変化はギャップ G のみではなく、開先側面（開先壁

) 11, 12の傾斜の変化に対しても同じような効果を得ることができる。

[0090] 一方、図8Eにおいては、本実施例を適用せず、溶接速度を一定にした場合の開先形状検知位置 P_0 及び P_5 の溶接後の断面形状を比較して示している。すなわち、開先形状検知位置 P_0 の検知データから算出した開先形状情報に基づいて求めた溶接速度を一定として溶接している。このように、溶接開始側の開先形状検知位置 P_0 では良好な溶接になるものの、ギャップ G が大きくなる溶接終了側の開先形状検知位置 P_5 では同じ溶接順番の溶接金属の高さは一定とならず変化し($D_1 \rightarrow D_1'$ 、 $D_2 \rightarrow D_2'$ 、 $D_3 \rightarrow D_3'$)、開先内を溶接金属で満たすことができず、溶接不良を誘発することになる。場所によって開先形状の異なる連続した溶接部では、開先で囲まれた溶接する方向の単位長さ当たりの体積は当然異なり、この体積変化に合わせて溶接金属の堆積量を制御しなければ、図8Eのような溶接不良を誘発することになる。

[0091] 溶接ワイヤ211から溶ける金属量は、溶接電流と電圧でほぼ決まる。本実施例では、溶接ワイヤ211から溶ける金属量は固定し(溶接電流と電圧は一定とする)、開先で囲まれた溶接する方向の単位長さ当たりの体積の変化に合わせて、溶接速度を制御することで、開先内に堆積する溶接金属の高さを一定に保持できるようにしている。

[0092] また、図4Cで示す溶接線 WL と溶接軌跡線 TWL との相対距離の最大値 $max \Delta d$ が、溶接ワイヤ径の2倍以下ならば、溶接速度 W と溶接距離 DW_n は、ロボット本体110の走行方向(X 方向)の移動速度 VX と移動距離 VDX_n と同じとみなしてもよい。この場合、 $[VX=W]$ であるから、 X 方向の加速度を ax とすると、基本式(3)から次式となる。

[数10]

$$ax = \frac{W_n^2 - W_{n-1}^2}{2VDX_n} \dots (10)$$

[0093] また、 X 方向の移動速度は基本式(1)から次式となる。

[数11]

$$VX = W_{n-1} + ax \cdot t \cdots (11)$$

[0094] Y方向及びZ方向の移動距離VDY_n, VDZ_nはわずかな距離と見なし、Y方向及びZ方向の移動速度VY, VZは、等速度で移動するとして、次式となる。

[数12]

$$VY = \frac{VDY_n}{t_n} \cdots (12)$$

[数13]

$$VZ = \frac{VDZ_n}{t_n} \cdots (13)$$

[0095] ここで、溶接時間t_nは、基本式(1)及び式(10)から次式となる。

[数14]

$$t_n = \frac{2VDX_n}{W_n + W_{n-1}} \cdots (14)$$

図4Cで示す溶接線WLと溶接軌跡線TWLとの相対距離の最大値max Δdが、溶接ワイヤ径の2倍以下ならば、簡易的に式(11)、式(12)及び式(13)を使ってロボット本体110の3方向の移動速度を制御しても、式(7)、式(8)及び式(9)を使ったときと同じ効果が得られる。

[0096] [ガイドレールが曲線状の場合における3方向ごとの移動速度の求め方]

以下、図4D及び図4Eで示した曲線状のガイドレール120における溶接線位置検知点T_n間の溶接速度の制御において、図9A～図9Dを参照して、溶接速度Wの求め方を最初に説明する。その後、上記X方向、Y方向、Z方向の3方向ごとの移動速度の求め方を説明する。

[0097] 図9Aは、曲線状のガイドレール120上におけるロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端が、溶接線位置検知点 T_n 間を移動するときの溶接速度 W 及び溶接距離 DW_n の説明図である。図9Bは、図9Aに示すIX部分を拡大し、溶接線位置検知点 T_n 間($T_{n-1} \sim T_n$)の任意点における溶接速度 W と、ロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端の3方向(X方向、Y方向及びZ方向)における移動速度(AX , VY , VZ)と、曲線状のガイドレール120上を走行するロボット本体走行速度(VX)の関係を説明した図である。図9Cは、図9BをXY平面で示した図である。図9Dは、溶接距離 DW_n と、ロボット本体110の溶接ワイヤ211の先端の3方向(X方向、Y方向及びZ方向)における移動距離(ADX_n , VDY_n , VDZ_n)と、曲線状のガイドレール120上を走行するロボット本体走行距離(VDX_n)の関係を示した説明図である。

[0098] まず、図9A～図9Dに示す記号と式の符号について説明する。

[0099] VX : 溶接線位置検知点 T_{n-1} から T_n へロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が移動するとき、ガイドレール120上を走行するロボット本体110の移動速度

AX : 溶接線位置検知点 T_{n-1} から T_n へロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が移動するときの、X方向の移動速度

VDX_n : 溶接線位置検知点 T_{n-1} から T_n までロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が移動したときの、ガイドレール120上を走行するロボット本体110の移動距離であり、センシング工程で得られる検知データ

ADX_n : 溶接線位置検知点 T_{n-1} から T_n までロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が移動するときの、X方向の移動距離

GR : 曲線状のガイドレール半径であり、あらかじめ溶接条件取得部603に入力する数値

O : 曲線部の曲率中心

YR_{n-1} : 溶接線位置検知点 T_{n-1} から曲率中心 O までのXY平面上の距離であり、センシング工程で得られる検知データ

Y R : 溶接線位置検知点 T_{n-1} をロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端がスタートしてから t 秒後に位置した点（図中の Q 点）から曲率中心 O までの X Y 平面上の距離

V D Y : 溶接線位置検知点 T_{n-1} をロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端がスタートしてから t 秒後に位置した点（図中の Q 点）での Y 方向の移動距離

なお、その他の記号は、図 8 A、図 8 B 及び図 8 C と同様である。

[0100] 先に説明した直線状のガイドレールの場合は、ロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端 X 方向の移動速度と移動距離は、ロボット本体 110 が走行する移動速度と移動距離とそれぞれ等しかったが、曲線状のガイドレールの場合には異なるため、区別してその関係を説明する。すなわち、図 9 B、図 9 C 及び図 9 D に示すように、曲率中心 O を中心に曲線状ガイドレール上を走行するロボット本体 110 の走行方向の移動速度 V X 及び移動距離 V D X_n と、ロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端の X 方向の移動速度 A X 及び移動距離 A D X_n の間には、ガイドレール半径 G R とロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端から曲率中心 O までの X Y 平面上の距離（Y R 及び Y R_{n-1}）の比の割合として、次のような関係式が成り立つ。

[0101] [数15]

$$AX = \frac{YR}{GR} \cdot VX \cdots (14')$$

[数16]

$$ADX_n = \frac{YR_{n-1}}{GR} \cdot VDX_n \cdots (14'')$$

また、図 9 C に示すように、Y R_{n-1} と Y R には、V D Y を含めて、次の関係式となる。

[数17]

$$YR_{n-1} = YR + VDY \cdots (14''')$$

以上より、曲線状ガイドレールの場合と同じく、溶接速度を求めてから、ロボット本体 110 の 3 方向（X 方向，Y 方向，Z 方向）の溶接ワイヤ 211 先端の移動速度を制御する数式を、下記式により求めることができる。

[0102] 図 9D から、 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間の溶接距離 DW_n は、 ADX_n ， VDY_n ， VDZ_n の合成により近似して求められる。さらに、式（14'）も代入すると、式（4）と同じように求めて、溶接距離 DW_n は次式となる。

[数18]

$$DW_n = \left(\left(\frac{YR_{n-1}}{GR} \cdot VDX_n \right)^2 + VDY_n^2 + VDZ_n^2 \right)^{1/2} \cdots (15)$$

[0103] 式（15）を用いて、溶接速度の加速度 a と溶接線位置検知点 T_{n-1} をスタートしてから t 秒後の溶接速度 W は、式（5）及び式（6）と同じく次式となる。

[数19]

$$a = \frac{W_n^2 - W_{n-1}^2}{2DW_n} \cdots (15')$$

[数20]

$$W = W_{n-1} + at \cdots (15'')$$

[0104] 次に、溶接速度 W からロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端の 3 方向の移動速度（ AX ， Y ， Z ）を求める。図 9B に示すように、ロボット本体 110 の溶接ワイヤ 211 先端の 3 方向の移動速度（ AX ， Y ， Z ）を求める。

Z) は溶接速度Wの3方向の速度成分となる。各方向の速度成分は、溶接距離 DW_n に対する各3方向の移動距離 ADX_n , VDY_n , VDZ_n の割合に、溶接速度Wを乗じた下記式により表される。

[数21]

$$AX = \frac{ADX_n}{DW_n} \cdot W \quad \dots (16)$$

[数22]

$$VY = \frac{VDY_n}{DW_n} \cdot W \quad \dots (17)$$

[数23]

$$VZ = \frac{VDZ_n}{DW_n} \cdot W \quad \dots (18)$$

[0105] ロボット本体110の溶接ワイヤ211先端のY方向及びZ方向の移動速度VY及びVZは、本体部112の駆動部と溶接トーチ200は直結しているため、本体部112の駆動部におけるY方向及びZ方向の移動速度と同じとなる。式(16)の移動速度AXについては、さらに、式(14')、式(14'')及び式(14''')を代入し整理すると、次式で示す、ロボット本体110の走行方向の移動速度VXが求まる。

[数24]

$$VX = \frac{VDX_n}{DW_n} \cdot \frac{YR_{n-1}}{YR_{n-1} - VDY} \cdot W \quad \dots (18')$$

[0106] 式(18')のVDY(溶接ワイヤ211先端がt秒後に位置した点でのY方向の移動距離)は、式(17)でY方向の移動速度が求められているので、基礎式(2)を使って整理すると次式となる。

[数25]

$$VDY = \frac{VDY_n}{DW_n} \cdot (W_{n-1} \cdot t + \frac{1}{2}at^2) \cdots (18'')$$

[0107] 以上により、直線状のガイドレール120の場合と同様に、 $T_{n-1} \sim T_n$ の2点間において、溶接線位置検知点 T_{n-1} を溶接速度 W_{n-1} で溶接スタートしてから、溶接線位置検知点 T_n で溶接速度 W_n に達するように、ロボット本体110の3方向の移動速度（ VX ， VY ， VZ ）を制御する、式（17）、式（18）及び式（18'）を得ることができる。このように、隣り合う開先形状検知位置 P_n 間で、あらかじめロボット本体110の3方向の移動速度（ VX ， VY ， VZ ）が計算できるので、データ保持部601に計算結果を保持して、計算結果に基づいてロボット本体110の駆動を制御する。その結果、図7Aに示すような溶接速度 W_n の変化となり、 $T_{n-1} \sim T_n$ の2点間の溶接開先内では、開先形状の変化に合わせて溶接速度 W_n が変化し、溶接開先の溶接金属の高さは一定に保持され、図8Dを用いて示したのと同じ効果が得られる。さらに、最終の仕上げでは、溶接金属の幅と余盛高さは溶接品質の基準に合格する溶接継手を得ることができ、精度の高い溶接を実施することができる。

[0108] また、図4Eで示す溶接線 WL と溶接軌跡線 TWL との相対距離の最大値 $max \Delta d$ が、溶接ワイヤ径の2倍以下ならば、溶接速度 W 及び溶接距離 D
 W_n は、溶接線位置検知点 T_{n-1} から T_n へロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が移動するときの X 方向の移動速度 AX と移動距離 ADX_n と同じに見なしてもよい。この場合、 $[AX=W]$ であるから、ロボット本体110の溶接ワイヤ211先端が X 方向に移動するときの加速度を ax とすると、基本式（3）から次式となる。

[数26]

$$ax = \frac{W_n^2 - W_{n-1}^2}{2ADX_n} \dots (19)$$

[0109] 式(14'')を代入すると、加速度 ax は次式となる。

[数27]

$$ax = \frac{W_n^2 - W_{n-1}^2}{2 \cdot \frac{YR_{n-1}}{GR} \cdot VDX_n} \dots (20)$$

[0110] 式(20)を使った基本式(1)から AX を求めて、式(14')、式(14''')を代入するとロボット本体110の走行方向の移動速度 VX が次式で求められる。

[数28]

$$VX = \frac{GR}{YR_{n-1} - VDY} \cdot (W_{n-1} + ax \cdot t) \dots (21)$$

[0111] Y方向及びZ方向の移動距離 VDY_n , VDZ_n は、わずかな距離と見なし、Y方向及びZ方向の移動速度 VY , VZ は、等速度で移動するとして次式となる。

[数29]

$$VY = \frac{VDY_n}{t_n} \dots (22)$$

[数30]

$$VZ = \frac{VDZ_n}{t_n} \dots (23)$$

[0112] ここで、溶接時間 t_n は、基本式 (1) 及び式 (20) から次式となる。

[数31]

$$t_n = \frac{2 \left(\frac{YR_{n-1}}{GR} \right) \cdot VDX_n}{W_n + W_{n-1}} \dots (24)$$

[0113] また、式 (21) の VDY (溶接ワイヤ 211 先端が t 秒後に位置した点での Y 方向の移動距離) は、式 (22) で移動速度が求められているので、次式となる。

[数32]

$$VDY = \frac{VDY_n}{t_n} \cdot t \dots (24')$$

[0114] このように、図 4 E で示す溶接線 WL と溶接軌跡線 TWL との相対距離の最大値 $max \Delta d$ が、溶接ワイヤ径の 2 倍以下ならば、簡易的に式 (21)、式 (22) 及び式 (23) を使ってロボット本体 110 における 3 方向の移動速度を制御しても、式 (17)、式 (18) 及び式 (18') を用いた場合と同様の効果が得られる。

[0115] 以上のように、開先 10 が蛇行し、さらに開先形状が変化する溶接に対して、直線状及び曲線状のガイドレールを使用しても、可搬型溶接ロボット 100 によって、溶接線 WL に沿いながら、開先形状の変化に応じて溶接開先内の溶接金属の高さを一定に保持して、良好な溶接品質を得ながら溶接が可能となる。最終の溶接継手の仕上がりでは、溶接金属の幅と余盛高さは、溶接品質の基準に合格する溶接継手を得ることができ、精度の高い溶接を実施することができる。

[0116] 次に、本発明の実施例を示す図 10 は、図 3 に示す可搬型溶接ロボット 100 が角形鋼管に取付けられた場合の斜視図である。図 10 に示すように、ガイドレール 120 は、多角形鋼管のワーク W に対し、鋼管外面を周方向に沿って取り付けられている。この場合、ガイドレール 120 は、取付け部材

140を介して鋼管外面を一周するように設けられており、直線部121と曲線部122を有する形状となっている。また、可搬型溶接ロボット100は、ガイドレール120上に溶接トーチ200を下方に向けた状態で取付けられている。

[0117] 図10に示すガイドレール120においては、直線部121と曲線部122でガイドルートが変わる境界領域128を有している。この場合における開先形状検知位置 P_n （溶接線位置検知点 T_n を含む）は、境界領域128に対応する位置を含むように設定されている。これにより、境界領域128に対応した開先形状情報を取得できる。

[0118] 本発明の実施例では、ガイドレール120による可搬型溶接ロボット100の案内ルートが変化する境界領域128に、少なくとも1つの開先形状検知位置 P_n を設けて、境界領域128に設けた開先形状検知位置 P_n の直前又は直後において、溶接条件を制御する区間を設けることが好ましい。

[0119] 図11においては、図10を真上から見たときのガイドレール120及び角形鋼管の1/4角部の領域における、ガイドレール120と開先10の位置関係が示されている。ロボット本体110が直線部121から曲線部122に向けて走行する場合、直線部121では、溶接速度 W とロボット本体110における走行方向（ X 方向）の移動速度 V_X は同じであるが、境界領域128を通過してからは、ロボット本体110は曲線部122の曲率中心 O を中心に走行するため、境界領域128において（図中の開先形状検知位置 P_n 点において）溶接速度 W をスムーズに繋げるには、 $[GR/YR_n]$ 分だけ、ロボット本体110における走行方向の移動速度 V_X を、急激に変化させる必要がある。

[0120] 本実施例では、ロボット本体110における X 方向の移動速度 V_X が急激に変化するのを避けるため、境界領域128に設けた開先形状検知位置 P_n の直前又は直後において、移動速度 V_X が急激に変化しなくても、開先10内の溶接金属の高さが境界領域128の前後で一定となるように、溶接条件を制御する区間を設けるようにした。また、境界領域128に、少なくとも1

つの開先形状検知位置 P_n を設けていないと、移動速度 V_X が急激に変化する位置が分からず、上記の境界領域 128 前後での溶接条件の制御もできないことから、不安定な溶接となってしまう。

[0121] つまり、本実施例では、図 10 のような直線部 121 と曲線部 122 をもつガイドレール 120 の案内ルートの変化位置に対応したデータ収集が可能であり、正確な検知データを取得することができ、開先 10 内の溶接金属の高さが一定となる精度の高い溶接制御が可能になる。

[0122] 続いて、図 7 C に示すように、溶接速度 W_n を段階的に変化させた場合の、溶接速度 W_n とロボット本体 110 における 3 方向の移動速度 (V_X , V_Y , V_Z) の求め方について、図 4 B の直線状のガイドレールを用いた場合の実施例として、図 12 を用いて説明する。

図 12 のように、溶接距離 DW_n を均等分割した横軸に対して、均等分割した距離の間は等速度の溶接速度となるように段階的に変化させるように制御する。まず、溶接距離 DW_n をあらかじめ設定した分割距離 Q で除して、分割数 m を求める。

[数33]

$$m = \frac{DW_n}{Q} \dots (25)$$

なお、分割数 m は、式 (25) を四捨五入して整数値とする。

[0123] 次に、隣接する溶接線位置検知位置間 (P_{n-1} , P_n) の溶接速度の差を分割数 m で除して、分割距離 Q 毎の増加分となる溶接速度 ΔW を求める。

[数34]

$$\Delta W = \frac{W_n - W_{n-1}}{m} \dots (26)$$

図 12 の縦軸は、分割数 m が増える毎に、溶接速度の増加分 ΔW だけ増加し、分割距離 Q の間は一定の溶接速度となるようにする。式で表すと次式と

なる。

[数35]

$$W = W_{n-1} + k \cdot \Delta W \quad \dots (27)$$

ここで、 k は $0 \sim m$ の整数値である。

これによって、図 12 に示す溶接線位置検知点 T_n 間での段階的な溶接速度の制御図ができる。ただし、溶接速度の増加分 ΔW は、溶接に影響のない範囲となるように、分割距離 Q は設定される。

[0124] 同様に、ロボット本体 110 の 3 方向 (X , Y , Z) の移動速度 (V_X , V_Y , V_Z) も分割数 m 個で分割して、式 (27) と同じように求めて、図 12 の縦軸を 3 方向 (X , Y , Z) の移動速度に置き換えれば、ロボット本体 110 の 3 方向 (X , Y , Z) の移動速度の制御図が得られる。このように得たロボット本体 110 における 3 方向 (X , Y , Z) の段階的な移動速度の制御で、図 12 に示す段階的な溶接速度の制御が実施可能となる。

[0125] このように、溶接線位置検知位置間 (P_{n-1} , P_n) の溶接速度を、段階的に変化する一定速度の集合体と見なすことで、可搬型溶接ロボット 100 の制御を簡便に取り扱うことができる。上述したように、図 7 A や図 7 B のような溶接速度の制御法では、溶接速度の加速度などを求めてあらかじめ数式化する必要があった。しかし、図 7 C に示すような溶接速度を段階的に変化させる制御法では、センシング工程で得られる検知データと溶接条件取得部 603 で算出する溶接線位置検知位置 (P_{n-1} , P_n) の溶接速度 (W_{n-1} , W_n) の情報を簡単な数式で算出するだけで制御データを取得することができる。また、後述するウィーピング溶接では有効な制御法である。

[0126] ところで、溶接開先では図 5 に示すようにルートギャップ G が存在するため、溶接するときには両開先側面 11, 12 方向へ十分な溶け込み幅を確保し、開先内の溶接金属が溶接方向に対し一定の高さになるように、ロボット本体 110 は X 方向に進みながら溶接トーチ 200 をルートギャップ G 内で

揺動する、いわゆる、図 1 3 に示すようなウィーピング溶接を行う。図 1 3 における、のこぎり歯状の軌跡がウィーピング線 UL であり、ウィーピング線 UL の Y 方向における移動距離 $Y O_{n-1}$ 及び $Y O_n$ は、ウィーピング幅を示している。Y 方向における移動距離 $Y O_{n-1}$ 及び $Y O_n$ は、開先形状検知位置 (P_{n-1} , P_n) の開先形状検知の際に取得できるルートギャップ G の大きさによって設定され、この間のウィーピング幅は $Y O_{n-1}$ から $Y O_n$ へ、漸近するように設定される。

[0127] ウィーピングは、ロボット本体 1 1 0 における Y 方向の往復運動により行われるが、もともと、開先形状検知位置 (P_{n-1} , P_n) 間での Y 方向の移動量も考慮されて設定される。また、ウィーピングの周期 (図 1 3 中の、 $2 \times Q$ 分の長さ) は、溶接距離 DW_n を均等分割した分割距離 Q ごとにタイミングを合わせて設定される。この際、先に説明した段階的な溶接速度の制御が有効となる。図 1 4 に示すように、分割距離 Q ごとにウィーピングの半周期を合わせて、この分割距離 Q の間のウィーピング速度 (すなわち、ロボット本体 1 1 0 における Y 方向の移動速度であり、方向がプラスとマイナスの交互になる) も一定となるように設定する。こうすることで、分割距離 Q の間は、溶接速度及びウィーピング速度ともに一定速度となり、分割距離 Q ごとに、溶接速度及びウィーピング速度ともに段階的に変化するように制御できる。

[0128] 一般的なアーク溶接では、ウィーピングによって十分な溶け込み幅を確保し、溶接金属の高さを一定にするには、分割距離 Q は数ミリ単位で設定される必要がある。本実施例では分割距離 Q は 1 ~ 3 mm で設定している。また、オシレーション幅も、 $Y O_{n-1}$ から $Y O_n$ へ漸近するようにウィーピングの半周期ごとに細かく設定する必要がある。溶接の長さが長くなると、ウィーピング回数も膨大となり、可搬型溶接ロボット 1 0 0 の制御が煩雑化してしまう。

[0129] 上記のように、分割距離 Q ごとに、溶接速度とウィーピング速度を一定速度で正確に設定し制御することで、間違いのない精度の高い制御が可能とな

る。現場溶接では、開先 10 を形成する組み付け作業の精度によって、開先形状検知位置 (P_{n-1} , P_n) 間では開先形状は変化し、開先 10 も蛇行した状態が存在する。さらに、ガイドレール設置精度によるズレも発生する中、このように、分割距離 Q ごとに溶接速度とウィービング速度を、一定速度で正確に設定し制御することで、良好な溶接品質を得ることができ、溶接準備作業時におけるガイドレール 120 及び可搬型溶接ロボット 100 の位置調整が容易になり、作業効率の良い溶接を行うことができる。

[0130] 本発明は、上記実施形態に限るものではなく必要に応じて適宜変更することができる。例えば、上記実施形態の溶接システム 50 においては、ロボット本体 110 をガイドレール 120 上に一台設ける構成としたが、ロボット本体 110 を複数設けるようにしても良い。

[0131] 上記実施形態においては、タッチセンサを用いたセンシングを実施したが、その他レーザーセンサ、視覚センサ等、又はその組み合わせによりセンシングを行っても良い。

[0132] 上記実施形態においては、溶接条件の設定に供するデータは、自動センシングによって自動設定する構成としたが、各開先形状の検知に設定される溶接条件は、ティーチング等によって、あらかじめ制御装置 600 に入力しても良い。例えば、制御装置 600 内に開先形状情報と溶接条件データのデータベースを記録させておき、センシングで得られた開先形状の検知データをもとに、データベースから導出される最適な溶接条件を自動設定しても良い。また、機械学習又はディープラーニング等で学習した AI (Artificial Intelligence) 学習済みモデルにセンシングで得られた開先形状情報を入力し、最適な溶接条件を出力させるようにしても良い。

[0133] 以上の通り、本明細書には次の事項が開示されている。

[0134] (1) ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御方法であって、

溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形

状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する検知手段を介してセンシングするセンシング工程と、

前記センシング工程で得た検知データから開先形状情報を算出する開先形状情報算出工程と、

前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得工程と、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0135] 上記（１）によれば、開先に対してガイドレール及び可搬型溶接ロボットが設置された状態で得る開先形状検知位置での検知データに基づいて、開先形状情報を取得し、該開先形状情報に基づいて溶接条件を設定するため、開先形状検知位置ごとの開先形状の変化やガイドレールと開先の位置関係は、検知データ内に含まれることで考慮され、正確な数値に基づいて溶接条件を取得することができる。これにより、開先形状の変化やガイドレール設置精度に影響を受けることのない溶接制御により溶接することができる。この結果、精度の高い溶接を行うことができる。溶接作業面では、開先形状を形成する時のワークの組み付け作業が容易になり、また、溶接準備作業時におけるガイドレール及び可搬型溶接ロボットの位置調整が容易になり、作業効率の良い溶接を行うことができる。

[0136] （２） 前記開先形状検知位置と、前記ワーク上にあらかじめ定められた溶接線との交点を、溶接線位置検知点とし、隣接する前記溶接線位置検知点間を溶接するときの溶接の軌跡を溶接軌跡線とする場合において、

前記溶接線と前記溶接軌跡線との相対距離の最大値が、溶接ワイヤ径の２倍以下となるように前記開先形状検知位置を設定する、

上記（１）記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0137] 上記（２）によれば、本来定められた溶接線に対して、良好な溶接品質を維持しながら裕度のある溶接を行うことができる。

[0138] （３） 前記開先形状検知位置間で前記溶接条件の変化が生じる場合において、

前記開先形状検知位置ごとに取得された前記溶接条件の値にしたがい、前記開先形状検知位置間で、前記溶接条件を、直線状、ステップ状、曲線状のうち少なくとも1つで変化させるように制御する、

上記（１）又は（２）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0139] 上記（３）によれば、開先形状検知位置間で溶接条件が大きく変化した場合でも、溶接条件を徐々に変えることができ、開先形状検知位置間での溶接条件の急激な変化を回避して滑らかな溶接が可能になる。この結果、精度の高い溶接を実施することができる。

[0140] （４） 前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、

前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記3方向ごとの移動速度を算出し、

前記3方向ごとの移動速度によって、前記開先形状検知位置間の前記溶接速度を制御する、

上記（３）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0141] 上記（４）によれば、各方向の制御によって開先形状の細かな変化に対応した制御ができる。また、溶接条件の制御が可搬型溶接ロボットの移動方向の溶接速度だけではないことから、ガイドレール設置の精度、開先形状等による溶接位置ズレの影響を小さくでき、精度の高い溶接を実施することができる。

[0142] （５） 前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、

前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先

形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記３方向ごとの移動速度を算出し、

前記開先形状検知位置間の溶接距離又は移動時間を２以上の区間に分割し、各分割点の前記３方向ごとの移動速度によって、前記各分割点の溶接速度を算出し、

前記分割点ごとの溶接速度を一定として、前記開先形状検知位置間の溶接速度をステップ状に変化するように制御する、

上記（３）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0143] 上記（５）によれば、各方向（Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向）の制御によって開先形状の細かな変化に対応した制御が容易にできる。また、溶接条件の制御が可搬型溶接ロボットの移動方向の溶接速度だけではないことから、ガイドレール設置の精度、開先形状等による溶接位置ズレの影響を小さくでき、精度の高い溶接を実施することができる。

[0144] （６） 前記ガイドレールの直線部と曲線部の境界領域、又は、前記ガイドレールの曲線部における曲率が変化する境界領域に、少なくとも１つの前記開先形状検知位置を設ける、

上記（２）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0145] 上記（６）によれば、ガイドレールによる可搬型溶接ロボットの案内ルートが変化する境界領域に対応して、少なくとも１つの開先形状検知位置を設けるので、ガイドレールの案内ルートの変化位置に対応したデータ収集が可能であり、正確な検知データを取得することができる。この結果、精度の高い溶接制御が可能になる。

[0146] （７） 前記境界領域に設けた前記開先形状検知位置の直前又は直後において、前記溶接条件を制御する区間を設ける、

上記（６）に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0147] 上記（７）によれば、開先形状検知位置ごとにて得た検知データをもとに、該開先形状検知位置に近い直前又は直後の制御区間で溶接条件を制御することで、実際の開先の検知データを得た部位から近い位置で溶接品質を損な

うことなく制御ができ、精度の高い溶接が可能になる。

- [0148] (8) 前記溶接条件として、ウィービング条件、溶接速度及び溶接電流のうち少なくとも1つを選択し、

前記開先形状検知位置間の前記開先形状情報をもとに、前記開先内の溶接金属が、溶接方向に対し一定の高さになるように、前記ウィービング条件、前記溶接速度及び前記溶接電流のうち少なくとも一つを制御する、
上記(1)～(7)のいずれか1つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

- [0149] 上記(8)によれば、溶融面の高さの安定化が図れ、溶接作業の精度向上及び溶接品質を高めることができる。

- [0150] (9) 前記センシング工程は、前記開先形状検知位置における前記開先形状のセンシングに加え、前記ワークにおける前記開先が設けられる側のワーク表面、及び、前記ワークの溶接線方向におけるワーク端部のうち少なくとも1つのセンシングを含む、
上記(1)～(8)のいずれか1つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

- [0151] 上記(9)によれば、開先形状だけでなく開先の周辺全体形状が把握できる。この結果、より多くの検知データに基づく溶接条件を取得でき、高精度の溶接を実施することができる。

- [0152] (10) 前記センシングは、タッチセンシングであって、

前記開先形状検知位置において、前記開先の横断面に沿って配置される検知点を、前記開先におけるルートギャップ及び両側の開先側面上に少なくとも5点設け、

前記検知点から得られる前記検知データをもとに前記開先形状情報を算出する、

上記(1)～(9)のいずれか1つに記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

- [0153] 上記(10)によれば、開先形状を正確に把握した溶接制御ができ、精度

の高い溶接を行うことができる。

[0154] (11) 前記溶接線は、前記開先形状における両側の開先側面のいずれか一方の開先端である、

上記(2)に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[0155] 上記(11)によれば、開先の実際の形状変化を正確かつ容易に検知でき、迅速かつ正確な溶接制御が可能になる。この結果、溶接の精度が高められる。

[0156] (12) ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御装置であって、

溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する検知手段を介してセンシングするセンシング工程で得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、

前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御装置。

[0157] 上記(12)によれば、溶接制御装置は、開先に対してガイドレール及び可搬型溶接ロボットが設置された状態で、可搬型溶接ロボット上の検知手段を介して開先のセンシングを行い、センシングで得た検知データから開先形状情報を算出し、算出した開先形状情報をもとに溶接条件を取得して溶接制御が可能である。この結果、溶接制御装置は、開先形状の変化やガイドレール設置の精度に影響を受けることなく高精度の溶接制御が可能であり、ガイドレールの設置精度を高める必要ないので、溶接作業性を高めることができる。

[0158] (13) ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する、
上記(12)に記載の溶接制御装置によって制御される可搬型溶接ロボットであって、

前記ガイドレール上にセッティングされた状態で、溶接開始点から溶接終

了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を、
を有することを特徴とする可搬型溶接ロボット。

[0159] 上記（１３）によれば、可搬型溶接ロボットは、開先をセンシングする検知手段を有し、開先に対してガイドレール上にセッティングされた状態で、検知手段を介して開先のセンシングを行い、センシングで得た検知データをもとに、溶接制御装置において算出された開先形状情報から得られる溶接条件に基づいて制御されるので、開先形状の変化やガイドレール設置の精度に影響を受けることなく高精度のセンシングができる。さらに、可搬型溶接ロボットは、高精度のセンシングにて取得された溶接条件に基づいて制御されるので、高精度で制御可能であり、溶接品質を高めることができ、可搬型溶接ロボットは、ガイドレールの設置精度を高める必要がないので、溶接作業性を高めることができる。

[0160] （１４） ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する可搬型溶接ロボットと、前記可搬型溶接ロボットの動作を制御可能な溶接制御装置と、を有する溶接システムであって、

前記可搬型溶接ロボットは、溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を有し、

前記溶接制御装置は、前記センシングで得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と、

を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接システム。

[0161] 上記（１４）によれば、溶接システムは、開先に対してガイドレール及び可搬型溶接ロボットが設置された状態で、可搬型溶接ロボット上の検知手段を介して得る検知データ、更に検知データをもとに算出された開先形状情報から得られる溶接条件により、可搬型溶接ロボットによる溶接を制御するので、開先形状の変化やガイドレール設置の精度に影響を受けることなく高精

度の溶接可能である。また、溶接システムは、ガイドレールの設置精度を高める必要ないので、溶接作業性を高めることができる。

[0162] 以上、図面を参照しながら各種の実施の形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0163] なお、本出願は、2019年8月7日出願の日本特許出願（特願2019-145780）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

符号の説明

[0164]	10	開先
	10 _e	溶接終了点
	10 _s	溶接開始点
	11, 12	開先側面
	11 _e , 12 _e	開先端縁
	50	溶接システム
	100	可搬型溶接ロボット
	110	ロボット本体
	120	ガイドレール
	121	直線部
	122	曲線部
	128	境界領域
	200	溶接トーチ
	211	溶接ワイヤ
	300	送給装置
	400	溶接電源

5 0 0	シールドガス供給源
6 0 0	制御装置
6 0 3	溶接条件取得部
DW_n	溶接線位置検知点 $T_{n-1} \sim T_n$ までの 2 点間の溶接距離
G	ルートギャップ
L	ワーク端部 W_e 間の距離
P_n	開先形状検知位置
P_s	第一開先形状検知位置
P_e	第二開先形状検知位置
T	移動時間
T_n	溶接線位置検知点
TWL	溶接軌跡線
W_e	ワーク端部
W_o	ワーク
W_i 、 W_u	ワーク表面
WL	溶接線

請求の範囲

- [請求項1] ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御方法であって、
- 溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する検知手段を介してセンシングするセンシング工程と、
- 前記センシング工程で得た検知データから開先形状情報を算出する開先形状情報算出工程と、
- 前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得工程と、
- を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。
- [請求項2] 前記開先形状検知位置と、前記ワーク上にあらかじめ定められた溶接線との交点を、溶接線位置検知点とし、隣接する前記溶接線位置検知点間を溶接するときの溶接の軌跡を溶接軌跡線とする場合において、
- 前記溶接線と前記溶接軌跡線との相対距離の最大値が、溶接ワイヤ径の2倍以下となるように前記開先形状検知位置を設定する、
- 請求項1に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。
- [請求項3] 前記開先形状検知位置間で前記溶接条件の変化が生じる場合において、
- 前記開先形状検知位置ごとに取得された前記溶接条件の値にしたがい、前記開先形状検知位置間で、前記溶接条件を、直線状、ステップ状、曲線状のうち少なくとも1つで変化させるように制御する、
- 請求項1又は2に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。
- [請求項4] 前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、
- 前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、
- 前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記3方向ごとの移動速度を算出し、

前記3方向ごとの移動速度によって、前記開先形状検知位置間の前記溶接速度を制御する、

請求項3に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項5]

前記溶接条件のうち少なくとも一つは溶接速度であって、

前記可搬型溶接ロボットの移動方向をX方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先幅方向をY方向、

前記X方向に対し、垂直となる開先深さ方向をZ方向、とする場合に、

前記X方向、前記Y方向、前記Z方向の3方向ごとに取得された前記開先形状検知位置における前記溶接速度の値にしたがって、前記3方向ごとの移動速度を算出し、

前記開先形状検知位置間の溶接距離又は移動時間を2以上の区間に分割し、各分割点の前記3方向ごとの移動速度によって、前記各分割点の溶接速度を算出し、

前記分割点ごとの溶接速度を一定として、前記開先形状検知位置間の溶接速度をステップ状に変化するように制御する、

請求項3に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項6]

前記ガイドレールの直線部と曲線部の境界領域、又は、前記ガイドレールの曲線部における曲率が変化する境界領域に、少なくとも1つの前記開先形状検知位置を設ける、

請求項2に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項7]

前記境界領域に設けた前記開先形状検知位置の直前又は直後において、前記溶接条件を制御する区間を設ける、

請求項 6 に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項8] 前記溶接条件として、ウィーピング条件、溶接速度及び溶接電流のうち少なくとも 1 つを選択し、

前記開先形状検知位置間の前記開先形状情報をもとに、前記開先内の溶接金属が、溶接方向に対し一定の高さになるように、前記ウィーピング条件、前記溶接速度及び前記溶接電流のうち少なくとも一つを制御する、

請求項 1 に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項9] 前記センシング工程は、前記開先形状検知位置における前記開先形状のセンシングに加え、前記ワークにおける前記開先が設けられる側のワーク表面、及び、前記ワークの溶接線方向におけるワーク端部のうち少なくとも 1 つのセンシングを含む、

請求項 1 に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項10] 前記センシングは、タッチセンシングであって、

前記開先形状検知位置において、前記開先の横断面に沿って配置される検知点を、前記開先におけるルートギャップ及び両側の開先側面上に少なくとも 5 点設け、

前記検知点から得られる前記検知データをもとに前記開先形状情報を算出する、

請求項 1 に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項11] 前記溶接線は、前記開先形状における両側の開先側面のいずれか一方の開先端である、

請求項 2 に記載の可搬型溶接ロボットの溶接制御方法。

[請求項12] ガイドレールに沿って移動する可搬型溶接ロボットを用いて、開先を有するワークを溶接するための溶接制御装置であって、

溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状を、前記ガイドレール上を移動する前記可搬型溶接ロボットが有する

検知手段を介してセンシングするセンシング工程で得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、

前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と

、

を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接制御装置。

[請求項13] ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する、請求項12に記載の溶接制御装置によって制御される可搬型溶接ロボットであって、

前記ガイドレール上にセッティングされた状態で、溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を、

を有することを特徴とする可搬型溶接ロボット。

[請求項14] ガイドレール上を移動しながら開先を有するワークを溶接する可搬型溶接ロボットと、

前記可搬型溶接ロボットの動作を制御可能な溶接制御装置と、を有する溶接システムであって、

前記可搬型溶接ロボットは、溶接開始点から溶接終了点までの溶接区間において、2箇所以上の開先形状検知位置を設定し、前記開先形状検知位置における開先形状をセンシングする検知手段を有し、

前記溶接制御装置は、前記センシングで得た検知データから、開先形状情報を算出する開先形状情報算出部と、前記開先形状情報をもとに、溶接条件を取得する溶接条件取得部と、

を有することを特徴とする可搬型溶接ロボットの溶接システム。