特 集

アーク溶接ロボットの現状

Present Situation of Arc Welding Robot

技術資料

4. アーク溶接ロボットの諸機能（溶接機との連動機能）

野 沢 正 彦**

Functions for Arc Welding Robots*

by Masahiko Nozawa**

アーク溶接ロボットは溶接作業者に代るものであり、従って作業者の行う溶接作業の動作挙動が正確に実行しうるものでなければならない。熟練溶接工による溶接技量は、それぞれの溶接箇所に適したトーチ姿勢と溶接諸条件を経験から適切に選定して行うこと、さらに溶接状況を常に監視して最適溶接状態が維持されるように修正を加え作業が進められることである。アーク溶接ロボットの性能としても、当然これに相当する機能が必要である。

本章では、アーク溶接ロボットに必要なこれら諸機能、すなわち溶接ヘッドの構造とトーチの姿勢制御、溶接条件の選定とオンライン制御、ウィービング機能と制御方式、外部制御、溶接異常検出について述べるものである。

4.1 溶接ヘッドの構造、トーチの姿勢制御

アーク溶接作業におけるトーチの姿勢制御は、アーク溶接結果を左右する重要な要件の一つである。たとえば、ねらい角はビードの形状や溶け込み形状に影響を与え、前進角、後退角の選択はビード形状、外観、あるいは軽金属溶接のクリーニング現象に大きな影響を与える。

熟練溶接工といわれる人達の作業動作は、大きくわけて二つに分類できる。その一つは、適切な溶接諸条件の選択であり、これの微細な選定が溶接作業性と溶接結果に大きな影響を与えることから、極めて重要視されているのは周知の通りである。第二は溶接箇所に最も適したトーチのねらいである。すなわち溶接工は、現在溶接している箇所に対して最良の溶接結果をうるように、トーチのねらい位置とねらい角度を常に選択しながらトーチの運行を行っている。

これらの作業動作をそのままアーク溶接ロボットの動作におきかえてみると、ロボット自体の機能評価の目安にすることができる。つまり、アーク溶接ロボットは、上記の二つの機能がどの程度まで実行しうるかということで評価しうるのである。

第一の溶接諸条件の選定については4.2項で詳しく述べることにし、ここでは第二のトーチの姿勢制御の機構について述べることにする。

アーク溶接ロボットには、三次元空間を任意に移動させるためのいわゆる基本3軸があり、さらにその先端部にはトーチの姿勢制御のための2～3軸が具備されて、総計5～6軸より成るものが多い。このトーチの姿勢制御用の軸数は、自由な姿勢制御機能だけを考えれば、当然多いにこしたことはない。通常は3軸が理想である

*原稿受付 昭和57年4月2日

**正 員 大阪変圧器(株) Member, Osaka Transformer Co., Ltd.

が、逆に軸数が多いことは、それだけトーチの姿勢制御のための機構は大きくなり、重量が重くなる。したがって複雑な形状のワークに対しては、たがいが干渉したり動きがぶくなるなど、実用的な不都合を生じやすい。このため、トーチの姿勢制御としては 2 軸を用い、2 軸では制御不可能なトーチ姿勢の動作域をロボットの適用範囲外へもっていったり、カーブドノズル、ロングノズル、その他アダプタ類を用いてこれを補うなど、実用的な効果をねらった改良が行われている。

なお、これらのアダプタ類によってトーチ姿勢の制御範囲を補う方法は、本質的にまったく制御範囲を拡大するものでないことに注意せねばならない。つまり、アダプタの使用によって制御範囲そのものが拡大することは決してなく、必ず別の箇所に新しい制御不可能域が発生することを十分認識しておく必要がある。

図 1 に代表的なトーチ姿勢の制御機構を示す。

図 1 トーチの姿勢制御機構の例

4.2 溶接条件の選定・オンライン制御

アーク溶接における溶接諸条件の選定は、溶接作業性と溶接結果に重大な影響を与える。この中でも、アーク電圧、溶接電流、溶接速度の 3 つは最も重要で、微細な変化でもその影響は大きく、アーク溶接の 3 条件として重要視されている。

アーク溶接ロボットにおいても溶接条件の選定は重要であることはいうまでもないが、更にロボットにおける溶接作業は溶接工が行う溶接作業とは違って、溶接されている状況の良否にかかわらず一方的に作業が進行されるので、安定性が特に要求されるのである。さらに、ワークのばらつき、電源電圧の急変など、外的錯乱要因に対しても安定ですぐれた溶接品質が確保できなければならない。溶接諸条件の選定は、手溶接・半自動溶接などによる手動溶接とくらべて、溶接箇所ごとに、さらにより適合した微細な溶接条件を選択し、これを安定に維持する必要がある。

専用のジグ溶接機などにおいては、複雑なワークに最もすぐれたアーク溶接を確保するため、溶接諸条件の微

細整ダイヤルを多数もうけてそれぞれの溶接箇所以最適の条件を設定し、溶接中はこれを次々と最適値に切替えていく方法が採用されている。アーク溶接ロボットにおいても、より多品種のワークに対応させる必要があり、従来のようなプリセットダイヤルを多数並べる方式は著しく装置を複雑化し、その設定は容易ではない。

最近のアーク溶接用ロボットでは、ワークに対するプログラムの中に溶接諸条件を同時に記憶させ、溶接中はこの条件を逐次読み出して、溶接機側よりこの溶接諸条件を引き出す方式が開発され、採用されている。図 2 はその操作盤の一例を示しており、溶接諸条件はその条件の直接の数値を数字キーで操作して設定されるようになっている。たとえば、アーク電圧 23.6 V、溶接電流 220 A、溶接速度 85 cm/min の設定では、数字キーを 2 3・6, 2 2 0, 8 5 と操作して設定できる。このような直接の数値による設定方式は、従래のように実際にアークを出さなければ溶接条件の設定値がわからないというような不都合がなく、設定が極めて簡単かつ正確に行える。このようなロボットのコンピュータ回路と溶接機とが完全に連動するシステムでは、操作上のみでなく、溶接条件の安定性においても効果があり、実用的効果は大きい。

なお、数字キーにより設定される条件は、あらゆる数値に関して設定可能なもので、たとえばウィーピング諸条件、ガス制御時間のタイマの設定などにも用いられている (図 3)。

一般に、各ワークに最適の溶接条件は、あらかじめ推定、計画された値とは若干異なるのが普通であり、これらは実際のアーク溶接によって微調整にて修正されて、最終溶接条件が決定されている。図 2 に示したロボットでは、操作盤上の溶接条件スイッチを操作して電圧または電流を選び、電圧・電流スイッチの増または減を適当回数押して、溶接中に設定条件を変更できるようになっている。たとえば、電圧では一回押すごとに設定値を 0.2 V ずつ増加または減少させることができ、電流では一回当たり 2 A を増減できる。このようにして修正された溶接条件は、今回限りの条件修正だけで終るのか、記憶したプログラムの内容そのものを修正値に変更してしまうのか、その選択は自由に行えるようになっている。なお、このようなオンラインの修正機能は、アーク電圧や溶接電流に限らず、溶接速度でも同様に修正可能になっている。

4.3 ウィーピング機構と制御方式

ロボットによるウィーピング溶接の作業は、基本的には振動軌跡を 1 点づつティーチングしていくことにより、やろうと思えばやれぬことはない。しかし、この

図2 溶接機と連動するロボットの操作盤

$$\text{ワイピング周期 } T = \frac{1}{1 \text{ 秒間のワイピング回数 (Hz)}}$$

図3 溶接条件のティーチング例（そのほか、ワイピングの諸条件も設定できる）

ティーチング作業が大変な労力になること、ティーチン

グ点数を多数記憶させる必要から記憶容量を多量に消費してしまうこと、重量軸である基本3軸をワイピング周期に合わせて部分的に激しく動かすことによる振動部の部分的な摩耗、あるいはロボット本体への大きな振動を与えることなど、実用上での問題が多い。

一方、単独のワイピング装置（ワイパー）をロボットの先端部分に取付けることも考えられるが、この場合はロボットの先端部分の重量が重くなること、トーチ部分が大きくなりロボットの自由度が損われること、トーチ先端部の位置がワイピング装置の取付けによって大きく移動し、補間機能などが一部役立たなくなるなどの欠点がある。何よりも問題なのは、ワイピング装置の動作がその取付け方向に対して一定方向のみに有効であるということ、つまりロボットの溶接作業において特定の方向のみにワイピング溶接が可能であり、他方向

はウィービング溶接が行えないという欠点があることである。

ウィービング溶接作業の動作を人間の作業状態で分析すると、手首の曲げ運動によって実行されている。この動作をロボットにあてはめれば、トーチ姿勢の制御用の軸に該当し、基本 3 軸とは無関係であることがわかる。したがって、ロボットでウィービング溶接を行わせる場合、このトーチ姿勢の制御軸を利用して行うのが自然である。トーチ姿勢の制御軸のみの動作によるウィービング溶接作業は、重量のある基本 3 軸をまったく使用しないことからロボットに大きな振動を与えたり、摺動軸を部分的に摩耗させるなどの不都合がない。しかも高いウィービング周波数と広いウィービング幅に応答するなどその効果は大きい。なお、トーチ姿勢制御軸を複数に対応させてウィービング動作を行う場合には、あらゆる溶接方向に対してウィービング溶接が可能になり、アーク溶接ロボットならではの効果的なウィービング溶接が実行できる。

ウィービング動作のティーチング作業は、その基準溶接線をティーチングしたのちに、ウィービング幅、ウィービング周波数、ウィービング停止時間などのウィービング条件を与える。すると、アーク溶接ロボットは与えられたウィービング条件にもとづき、基準溶接線に対して対称の振り分け動作で実行される。この場合、スイッチなどの外部操作によって、プログラムの変更を行わなくとも自由にウィービング動作のみを中止することが可能である。

図 4 はアーク溶接ロボットにおけるウィービング溶接の動作説明図である。

図 4 アーク溶接ロボットのウィービング

4.4 外部制御（ワークポジショナ、クランプジグとの運動）

ティーチングプレイバック制御を基本制御とするアーク溶接ロボットでは、溶接作業はあらかじめティーチングされた溶接軌道に従うから、ワークのジグへの取付け位置は正確でなければならない。センサなどによりトーチ先端部と溶接継手とのずれを修正するものもあるが、この場合でもあらかじめティーチングされた溶接軌道が基準になって修正されることから、大きく逸脱したもの

では修正に時間がかかり、あるいは修正不可能になるなどの問題がある。クランプジグの精度やワーククランプの精度は、アーク溶接ロボットのようなプレイバック制御のロボットでは、ワーク精度とともに極めて重要な要件である。

ロボットによる溶接作業は、いわば人間の溶接作業をそのまま、あるいは類似した状態で機械にやらせようとするものであり、ロボットのワークに対する柔軟性が評価されて採用されているのである。したがって溶接作業の形態は、ワーク側は、基本的にはクランプジグに固定されて動かず、ロボット側が積極的にワークの周辺を動きまわって、それぞれの溶接箇所にもっと適したトーチ姿勢により最良の溶接を進めていくことになる。つまり、アーク溶接ロボットの特長は、自由で柔軟な動きをもち、あらゆるワークに柔軟に対応できることにある。

一方、アーク溶接作業の性質としては、下向き方向の溶接が最も溶接性が良く、溶接結果や溶接品質が安定するなどあらゆる面ですぐれており、つまり理想的な溶接姿勢である。これに対して、すみ肉溶接、横向き溶接、下進・上進の縦方向溶接、上向き溶接と順をおって溶接性が悪くなり、安定ですぐれた溶接をうるための条件幅は狭く、そのための制約が増加する。

アーク溶接ロボットによる溶接作業は、ワーク側が一定方向に固定されてしまう関係で、溶接箇所によっては上述のような作業性の悪い溶接姿勢を選ばざるをえない場合も生ずるが、クランプジグの設計をうまく行って、できるだけ溶接性の悪い溶接姿勢をさけるように考慮しなくてはならない。

ワークのクランプジグの設計の配慮だけでは、どうしても所望の溶接品質を確保するのに必要な溶接姿勢がとれない場合には、このクランプジグにポジショナを併用して、不都合とする溶接姿勢をさけることが考えられる。つまり、不都合な溶接姿勢となる箇所の溶接に際して、ポジショナを用いてクランプジグの方向をあらため、溶接の作業性のよい方向にその都度もって行って溶接を行う方法である。ポジショナの移動には、ロボットの溶接作業順序に合わせて、適時、この動作のための信号を供給する必要がある。ロボットの制御装置には、これのための外部制御端子がもうけられている。

外部制御端子の信号は、一般にロボット側からある指定の動作時点で信号を出力する。出力端子と、ある動作時点において外部から信号が与えられたときに、このロボットが次の動作ステップに進みうるための入力端子とがある。いずれの外部制御端子の動作信号の時期も、ロボットのティーチング作業時にロボットの動作と関連させて指定するようになっている。

ワーク側を固定し、ロボット側を積極的に動かして溶接を進めるというアーク溶接ロボットの作業形態では、ロボットの外部制御用として必要になるのは、ワークランプとその確認ぐらいである。したがって外部制御端子数としては、一般には、そう多くを必要としない。しかし、複数のワークに対応させる作業配置や、複数台のロボットを使用する生産ラインにおける同期制御などに用いる場合では、当然多数の外部制御信号を必要とするから、外部制御ユニットは随意増設できるようになっている。

4.5 溶接異常検出（アーク切れ、溶着検出など）

アーク溶接ロボットによる溶接作業は、アーク発生状況の状況を作業員が常時監視しているわけではないから、これに代る検出機能をロボットに装備する必要がある。そして、正常なアーク溶接が何らかの理由で損われた場合、これを検出して、ロボットの動作を中止させるなどの適切な処理を構ずる必要がある。

アークの発生状況が正常か、作業が順調に進んでいるかなどの検出は、一般にアークの発生状況を直接検出して判断するよりは、アークの発生と直接関係する電気的現象、すなわちアーク電圧や溶接電流を検出して、これからアーク状況を判断する方法が、現象を適確に把握でき、信頼性も高い。

アーク溶接の作業中の異常現象は種々あるが、特にアーク溶接の続行が不可能になる場合や、そのまま溶接ロボットの動作を放置すると機器を破損し危険状態になるような場合など、致命的な現象に対しては直ちにこれを適確に把握し、迅速かつ適切な処置を構ずる機能が必要である。現在、アーク溶接ロボットに装備されている溶接異常の検出機能は、上述のような溶接作業を続行するのに支障のある事象に対しての検出と、ロボットの自動停止あるいは警報などの機能を装備したものが多い。

溶接品質に関するような、たとえば現在の溶接状況が所定の溶接結果をうるに適したアーク状況か否かの検出を行って、ロボットの制御を修正し、常に良好な溶接品質を得るように考慮された高度な機能を有するものなどは、現在のアーク溶接ロボットでは、まだ完全に実現するまでに至っていない。

アーク溶接を続行することが不可能になるような現象の代表例としては、アーク切れおよびワイヤの溶着現象がある。

アーク切れの発生には種々の原因が考えられるが、たとえば不適正な溶接条件の選定、ワイヤの送給不良、チップ穴の目づまり、ワーク形状の不良などがある。アーク切れの現象は突然にして起り、溶接がとぎれて、後の溶接を不安定にし製品不良を引きおこす。

アーク切れが発生した場合の電気的現象は、アーク電圧は無負荷電圧となり、溶接電流はゼロとなるから、これのいずれか、あるいは両者を検出して適宜処理することにより、適確に事象が把握できる。

溶接ワイヤのワークへの溶着現象、いわゆるワイヤの短絡現象は、ワークに溶接ワイヤがくっついてしまう現象で、直ちにロボットの動きとワイヤ送給を停止する必要がある。もしこれを続けると、トーチ部分をひん曲げたり、ワークジグを倒すなどの危険性がある。このワイヤの溶着現象としては2種類の現象が認められている。

その第一の現象はアーク発生中に起るものである。溶接条件の不適正、ワイヤの送給不良、ワーク精度の不良、電極チップの摩耗、電源電圧の急変など、種々の原因が考えられている。この第一の現象に対しては、いずれもアーク電圧はゼロあるいはそれに近い値に低下すること、溶接電流は短絡電流となって急増することから、アーク電圧あるいは溶接電流のいずれか、あるいは両者を検出して、適当な処理を行うことで、極めて適確に、即座にこれを検出することが可能である。これにより、直ちにロボットの動きを停止し、ワイヤの送給を止め、溶接電源を遮断することによって、機械の損傷を防止し、危険な事態におちいるなどの不都合を未然に防止している。

ワイヤ溶着の第二の現象は、溶接終了時に起るワイヤの突込み溶着現象である。一般にアーク溶接では、溶接終了時にワイヤ送給を停止するとともに溶接電源を遮断しているが、ワイヤの送給系の惰力などによってアーク消滅後もワイヤが若干送り出され、まだ凝固していない溶融プールの中に先端部をつっこんで、溶着してしまうことがある。このような現象をさける目的で、ワイヤ送給の停止指令に対して溶接電源の遮断時期を若干遅らせるなどの対策が行われている。しかし、それでも稀にワイヤの溶着現象が発生することがあり、このような状態でロボットの溶接終了にともなう次の動作、たとえばトーチの後退などの動きを行うと、トーチやロボットの破損、ワーク台の転倒など、種々の事故を誘発して大変危険である。このワイヤ溶着の第二の現象は、アーク消滅後の、すなわち、溶接電源が遮断してアーク電圧も溶接電流もない状態で生じるために、上述の第一の現象の場合のようなアーク電圧あるいは溶接電流を用いて、これを把握することは不可能である。

第二のワイヤ溶着現象の検出には、通常、溶接の終了時、すなわち溶接電源遮断後に、直ちにワイヤとワーク間に適当な信号電流を通電して、ワイヤとワーク間の導通状態を検出し、これを判断する技法が用いられている。なお、ワイヤ溶着現象が確認された後の停止処理などは、ワイヤ溶接の第一現象の場合とほぼ同様である。