④ 自動車産業における高品質・高速 MAG 溶接*

松 井 仁 志**

High Quality and High Speed Gas Metal Arc Welding in Automotive Industry*

by Hitoshi MATSUI**

キーワード：自動車，アーク溶接，高速溶接，パルスマグ溶接，溶接電源，溶接ワイヤ，スパッタ，溶接トーチ，ロボット

1. は じ め に

自動車にはそれを構成する材料および継手の多様性から，様々な溶接法が取り入れられている¹⁾。ここではその中で，シャシー部品において最も汎用的な溶接法であるアーク溶接について取りあげ，高速化に関する技術動向を紹介する。

アーク溶接における高速化の目的は当然ながら高能率にあるが，さらにその先には高能率による製品コストの低減という大きな目的がある。この場合のコストとしては，机上の計算による溶接作業のみの数値が目標になるのではなく，品質を維持するために生産ラインの周辺で日常発生する費用や母材への要求追加は勿論，新規の量産ラインを立ち上げるための品質確認に要する費用，あるいは品質トラブルがあった場合の対応に要する費用，さらには設備停止による機会損失等も含めて，総合的に低コストを目指していく必要がある。したがって，周辺の犠牲を払ってまでトーチの走行速度を速めるようなことは避けなければならない，素材や製造現場の技術レベル，あるいは時代毎および各企業毎の制約条件に合わせて，溶接品質のロバスト性とのバランスを取りながら，安定点を求め，技術の選択を行っていく必要がある。ここではその参考として，主にプレス成形材に対してロボットを用いてパルス MAG 溶接を行う場合の高速化技術とともに，溶接品質を確保する技術にも重点をおいて紹介する。

2. 高品質高速化技術の現状

自動車は移動物体の宿命として，軽量化および静粛性の向上に不断の努力が要求されており，各部品において材料の薄肉化および継手構造の変更が行われてきた²⁾。またロボットの導入によって，多種生産に対応するライン作りも進められてきた¹⁾。これらの変遷は何れも溶接品質の確保を困難にする方向にあり，従来からの慢性的な問題がその場しのぎでは対処できないほどに顕在化することが予測された。そこで以下に述べるように，溶接システムを構成する各要素毎に基本的な見直しを行ってきた。

2.1 システム構成要素の高精度化

自動車シャシー部品の板厚は薄いものでは 1 mm を下まわり，極短時間のアークの変動も母材の溶融状態に大きな変化を与える。したがって品質安定化のためには，溶接現象に影響する因子を，一定の状態あるいは規則的な周期変動の状態に制御することが，まず第一に重要である。その主な因子を図 1 に示し，これらの制御について以下に述べる。

図 1 の [5] に示すように，短絡を伴わずに 1 パルス毎に規則的に溶滴移行を繰り返すことは，[4] アーク長を短く保つ必要のある高速溶接においては，スパッタ低減に必須な条件であるとともに，溶融池に作用する [6] アーク力を一定にして，アングカッタあるいはハンピング等の不整ビードの発生を避けるためにも重要である。また規則性に加えて，溶滴を細粒化することはその分だけ短絡を伴わずにアーク長を短くでき，高速化を図るうえで重要な方策である。

図 2 は 1 パルス 1 溶滴移行が規則的に繰り返される電流波形を示している。(b) の改良波形はトランジスタイ

*原稿受付 平成 11 年 1 月 20 日

**正 員 トヨタ自動車㈱ Member, Toyota Motor Corporation

図1 溶接現象に影響する因子

図2 1パルス1溶滴移行に適合するパルス電流波形

図3 ワイヤ組成が溶滴変形能に与える影響

ンバータを用いて実現したもので、(a) の従来波形に比べてパルス1周期の電流積分値は30%程度小さく、溶滴の体積もこれに比例して小さくなっている³⁾。

図3はワイヤ組成の選択によって溶滴の変形能を高めた結果を示したものである。各ワイヤにおいてスパッタ発生量が最も少なくなるパルスピーク時間が、そのワイ

図4 溶滴の細粒化による適正領域の拡大

図5 ワイヤ成型溶接トーチ

ヤにおいて1パルス1溶滴移行に適合するパルス条件である。溶滴の粘性が低下するようなワイヤ組成の選択によって、一定のピンチ力に対して短時間で溶滴が離脱できるようになり、溶滴の体積はパルスピーク時間に比例して約20%小さくなっている³⁾。

図4は以上に述べた電流波形とワイヤ組成による溶滴の細粒化の効果を示したもので、溶滴体積が約半減した結果、スパッタが発生せずハンピングビードも形成されない適正領域が高速側に拡大された³⁾。

図1の[3] ワイヤ狙いの精度向上は自動溶接における長年の課題であった。特にロボットを用いるようになってからは、ワイヤコンジットが激しく動くようになり、ワイヤがその中で曲げられて、トーチの先端で複雑な動

きをするようになった。また、ワイヤの曲がりを矯正すると給電チップとの接触不良による焼き付き、あるいは給電ポイントの移動すなわち図1の[2]に示す実質的なワイヤ突出し長さの変動が生じて電流が変動する。これに対して図5に示すようなワイヤ成形型トーチが開発され、コンジットの中で曲がったワイヤでもトーチの中で一定の曲率に成形され、しかもロボットの手首のひねりに対してワイヤが回転することが無くなり、トーチを基準としたワイヤ先端位置が安定するようになった⁴⁾。ワイヤ狙い精度については給電チップの摩耗が課題として残っているが、材質面での改良あるいはアークセンサの適用でかなりの部分が解決できると思われる。

ワイヤ送給速度を変動させる要因としては、ワイヤコンジットの変形状態とそこに納まっているワイヤの曲率およびその方向との関係が一因として挙げられる。また、ワイヤのめっきが剥がれてコンジットの中で充満し、あるいは給電チップとワイヤとの間で焼き付きが発生して、送給抵抗が増加する、あるいはこれによってワイヤと送給ローラとの間でスリップが生じる等、様々な要因が挙げられる。これらに対しては、まず送給ローラによるワイヤの把持力を確保して、送給抵抗に多少の変動が生じてワイヤを送り続けるようにすべきであり、従来の2ローラタイプに代わって4ローラタイプのプッシュ式送給装置が採用されるようになった。さらにワイヤコンジットの中でのワイヤのいわゆる暴れを抑えるために、その先端のトーチに送給抵抗を持たせることが有効と考えられる。前に述べたワイヤ成形型トーチは、このような目的に対して適合しているといえる。

給電ポイントが安定するとワイヤの抵抗発熱が一定となり、電流電圧の変動要因が減ることになる。これを簡単な構造で実現するためには、図1から分かるように、ワイヤあるいは給電チップの何れかが曲がっていた方がよい。この意味でも前に述べたワイヤ成形型トーチは、目的に対してよく適合しているといえる。

上に述べたワイヤ送給速度および給電ポイントの安定化によって、電流電圧の変動が抑制された例を図6に示した⁴⁾。ワイヤ成形型トーチの場合は、トーチ先端部の

ワイヤが比較的大きな曲率を持っているため、新チップあるいは摩耗によって交換した消耗チップの何れにおいても、給電ポイントはチップ先端部にほぼ固定されており、突出し長さが一定となる。そのうえ適度な送給抵抗によってワイヤ送給速度の変動が抑えられ、電流電圧が安定する。これに対してストレートトーチの場合はスプールワイヤを用いると給電ポイントはチップ先端部に固定されるものの、送給速度変動の影響を受ける。またワイヤをペイルバックワイヤに代えると、ワイヤの曲率が小さいために給電ポイントが移動し易くなり、さらに不安定となる。

2.2 周辺条件の変動への対応

システムを構成する全ての要素を網羅して、図1に示した因子について悉く安定化を図ることは現実的には困難場合もある。また母材および治具の精度不足による変動については上記の方策だけでは対処できない。したがってこれらを補完するためには、種々の変動による影響を小さくするという、別の面からのアプローチも必要になる。

量産において溶接品質の安定性を脅かす最も大きな要因はワイヤ狙いおよび継手間隙の変動である。

ワイヤ狙いずれの影響を緩和する方策の基本的な考え方には二つあり、その一つは母材表面への直接のアーク入熱を分散させることである。入熱範囲を広げるためには、アルゴンリッチなシールドガスの採用が有効である。その他トーチのウィービング、コアードワイヤ等の手段があり、何れもよく知られたものであり、内容については省略する。

もう一つは、熔融池表面に投与された熱を、底部へ伝達される間に熔融池の中で拡散させることである。そのためにはアーク直下の熔融金属の厚みを増すことが有効であり、具体的には、トーチの前進角によるアーク力を利用した熔融金属の先行、コアードワイヤの採用あるいはワイヤ狙い精度に余裕があれば突出し長さの増大による、単位電流当たりの溶着量の増加、下り坂の母材姿勢による重力の利用等々がある。自動車部品の溶接では工程間の搬送も兼ねて、図7に示すように母材をハンドリングしながら溶接する協調制御ロボットが普及しており、溶接姿勢を利用する例が比較的多い。

図6 トーチ形状およびワイヤ曲率の違いによる電流電圧変動の比較

図7 溶接姿勢制御による条件変動の緩和

なお、一つ目の方策である直接のアーク入熱の分散は、溶込みが浅くなる効果をもたらすため、溶込みを同等にすることが許容されるならば、さらに電流の増大が可能となり、溶着量を増加させるという二つ目の方策をも併せて持っているといえる。このような機構はマグ溶接をミグ溶接に代える場合に、溶込みと電流を観察することによって比較的容易に理解することができる。

継手間隙の変動に対しても、基本的にはワイヤ狙い変動の場合と同様な考え方が通用し、具体策も共通することが多い。その証左を得るには、上記の二つの変動要因を軸にして、品質の可否の領域図を描いてみれば容易に理解できると思われる。

以上に述べた影響緩和策においては、一定の条件を維持するのに対し、次に述べる手段は周期的に条件を変化させるものである。図8は1パルス1溶滴移行のパルス波形条件範囲の中で、基本パルスを大小の2種設定しておき、これを数ヘルツで切り替える低周波重畳パルス溶接法を示している。特に薄板でしかも継手の間隙が大きい場合に使用される方法であり、大パルスのときに溶込みを確保した後、溶込み過大とならないように小パルスに切り替えて一定期間電流を下げ、溶融池が小さくなってから再び大パルスで溶込みを確保する。溶接速度を若干低下させることが許されるならばかなり有効な方法である。

2.3 高速大電流化

自動車部品の中でも比較的厚板あるいは下り坂溶接が可能な部品においては、電流量が高速化を制限している場合がある。電源あるいはトーチなどの機器の熱容量を大きくする必要があることはもちろんであるが、パルス溶接においてはスパッタを発生させないように、ベース電流の期間に溶滴を離脱させるのが基本であり、一定のベース時間を設ける必要がある。図9に示すように、トランジスタインバータ電源の開発によって急峻な立ち上がり立ち下りの矩形パルス波形が可能になり、従来のトランジスタチョッパ型電源を用いた場合よりもパルス周波数が飛躍的に増大し、高能率化に貢献している³⁾。しかし一定のベース時間を確保しつつさらに大電流で溶接するためには、大きなパルス波形が必要となる。最近では図10に示すように、大パルスに合わせて太径のワイヤを用い、パルスの大電流化も図っている⁵⁾。図中のベース期間 T_b は平均電流の増大即ちパルス数の増大と

ともに短くなるが、溶滴移行に必要な時間 T_d を下まわるとスパッタが発生するため、現状の電流限界としては約 400 A 程度である。

2.4 設備停止時間の短縮

量産ラインの高能率化を図るためには、トーチ走行速度を速める以外に、設備のメンテナンス時間を短縮することも重要である。量産のアーク溶接ラインにおける設備停止時間の最も大きい要因は、トーチノズルに付着するスパッタの清掃であった⁶⁾。これを自動化するに当たっては、自動化のための装置自体もメンテナンスフリーでなければ大きな効果は得られない。図11は鋼板の溶接に限定されるものの、スパッタが磁性体であることを利用して磁力で吸引除去する自動除去システムであり、高能率化に大いに貢献している⁷⁾。

3. おわりに

自動車部品のロボットアーク溶接における高速化、高

図9 高速高能率限界の拡大

図10 パルス溶接の電流限界

図8 低周波パルスによる溶融池寸法制御

図 11 磁力吸引によるトーチノズルスパッタの自動除去方法

品質溶接技術の現状について紹介した。紙面の都合で説明を割愛した部分が多いので、詳細は参考文献を参照していただきたい。

ここに紹介した技術の大半は既によく知られており、

直ちに実行できるものが多いが、必ずしも普及しているとは言いがたい。その理由はコストを考慮する範囲の違いによって見解が分かれるためと思われる。また最近はこのまでの自動化一辺倒のやり方を見直す機運もある。

しかし今後の労働力不足、繰り返しの過酷な作業からの解放等、将来の姿を見据えた場合、ロボットによる高品質高効率な溶接の必要性は高く、紹介した技術はその基本をなすものと考えている。時代毎の事情に合わせて、用いる技術は常に見直していく必要があるが、その機会に本稿が役立てば幸いである。

4. 参 考 文 献

- 1) 池淵：自動車分野における溶接技術の展開，溶接学会誌，No. 65-1 (1996)，62-66.
- 2) H. Matsui: State of the Art and Subjects of Reducing Automobile Weight, 6th International Welding Symposium, Vol. 1 (1996), 287-292.
- 3) 松井，鈴木：高速パルス MAG 溶接におけるスパッタ発生量の低減，溶接学会論文集，No. 15-2 (1997)，254-258.
- 4) 松井，服部：消耗電極式アーク溶接トーチにおけるワイヤ先端振れの抑制，溶接学会論文集，No. 16-2 (1998)，282-289.
- 5) 三田，品田，市川，松井：矩形波パルスマグ溶接電源とその溶接特性，溶接学会第 130 回溶接アーク物理研究委員会資料，ア物 98-1023 (1998).
- 6) 松井：ロボット溶接におけるアーク電源・周辺機器の現状と課題，溶接技術，Vol. 40, No. 12 (1992)，75-80.
- 7) 松井，服部：アーク溶接トーチノズルのスパッタ除去の自動化に関する研究，溶接学会論文集，Vol. 16, No. 4 (1998)，421-430.

[新 版]

mate' 99

5th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"

Sponsored by Microjoining Commission (JWS)
Committee for Information Science in Processing
and Recycling (HTSJ)

1999年2月発行 定価 10,000円

ご注文その他については下記へお問い合わせ下さい。

社団法人 溶接学会

〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間1-11

☎03-3253-0488 ファックス03-3253-3059