スパッタの発生を大幅に低減した 高周波パルス CO₂ アーク溶接法の開発

片岡 時彦¹⁾ 池田 倫正¹⁾ 阪口 修一¹⁾
安田 功一²⁾ 時 乗 健 次³⁾

1. 緒 言

ガスシールドアーク溶接に関しては、施工上必要とされるスパッタ低減およびアークの安定性向上を目的として数多くの研究がなされており、溶滴移行現象、スパッタ発生現象、溶接電流・電圧の過渡現象などの検討結果が主に報告されている⁽¹⁾。その結果、スパッタ低減に有効な新しい溶接法もいくつか開発されている。その中でも Ar-20%CO₂ ガスとインバータ式パルス電源とを組み合わせた MAG パルス溶接法⁽²⁾はスパッタ発生を極限にまで低減できる溶接法として高い評価を受けている。しかし、MAG パルス溶接法を含めスパッタ低減に効果的とされる溶接法は Ar-CO₂ 混合ガスを使用する MAG 溶接がベースとなっており、低スパッタ化のためには高価な Ar ガスを使用しなければならないのが現状である。

一方、1950年代に開発された CO₂ アーク溶接法は、Ar ガスを使用しない低コストの溶接方法として現在では市場の約 9 割を占める主要溶接法となっているが、溶接作業性向上あるいはスパッタ発生量低減などの課題がある。これまで多くの検討⁽³⁾⁻⁽⁵⁾がなされてきたものの、MAG 溶接と比較して特にスパッタ発生量は依然として多いのが現状である。また、CO₂ アーク溶接においても、MAG パルス溶接法と同様にパルス電流を適用し 1 パルス 1 溶滴移行あるいは 2 パルス 1 溶滴移行により低スパッタ化を図る検討⁽⁶⁾⁽⁷⁾がなされているが、広く実用化されるには至っていない。

本研究では、高周波の矩形パルス電流に着目し、パルス条件が CO₂ アーク溶接における溶滴粒径、溶滴移行形態およ

びスパッタ発生量に及ぼす影響について検討し、高周波パルス電流適用によるスパッタ低減技術を確立した⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾。

2. 高周波パルス CO₂ アーク溶接法の溶滴移行現象

表 1 に高周波パルス CO₂ アーク溶接法の溶接電源特性とパルス電流パラメータを示す。各パラメータは、ピーク電流 (I_p) 450~550 A、ベース電流 (I_b) 80~250 A、パルスピーク時間 (T_p) 0.4~1.0 ms、立上り時間 (T_{up}) および立下り時間 (T_{dn}) 0.4 ms、パルス周波数 450~750 Hz の範囲で変化させた。

図 1 にパルス周波数と平均溶滴質量の関係を示す。溶滴の平均重量は、ワイヤ溶融量と溶滴の移行回数から求めた。一つの溶滴移行に 1~2 パルスが付与される周波数 40~100 Hz において溶滴質量の減少がみられる、さらに周波数を増加させると、周波数 150~250 Hz の領域では溶滴質量は増加したが、周波数 400 Hz 以上の高周波領域では溶滴は再度微細化する傾向を示し、周波数 40~100 Hz の領域よりも溶滴質量は減少した。この時の平均溶滴質量は 34 mg であり、直流溶接(以下ノンパルス溶接)の 59 mg から大きく減少した。

図 2 に通常のノンパルス溶接における溶接電流とアーク電

表 1 溶接電源とパルスパラメータ。

電源方式	インバータ	
アーク長制御	定電圧特性	
パルス制御	定電流特性
ピーク電流 I_p	450~550A
	ベース電流 I_b	80~250A
	ピーク時間 T_p	0.4~1.0ms
	立下り時間 T_{dn}	0.4ms
	立上り時間 T_{up}	0.4ms

* JFE スチール株式会社

1) 接合・強度研究部主任研究員 2) 接合・強度研究部長

3) 条鋼部主任部員

Development of Low Spatter CO₂ Arc Welding Using High Frequency Pulse Current; Tokihiko Kataoka, Rinsei Ikeda, Shuichi Sakaguchi, Kenichi Yasuda, Kenji Tokinori (JFE Steel Corporation)

2003年11月13日受理

図1 パルス周波数と平均溶滴質量の関係.

図2 ノンパルス溶接における電流電圧波形.

図3 高周波(600 Hz)パルス溶接における電流電圧波形.

庄の波形測定結果を、図3に高周波パルス溶接における溶接電流とアーク電圧の波形測定結果を示す。溶滴の短絡移行はアーク電圧の急激な減少から、また、ドロップ移行はアーク電圧の急激な増加から判断できる。ノンパルス溶接における溶滴移行時間の間隔は平均で37 msと長く、しかもその間隔は29~48 msと大きく変動した。これに対して、高周波パルス溶接では9~11パルス毎に溶滴は確実に移行した。その結果、溶滴の平均移行間隔時間は16 msに半減し、その移行間隔時間の変動も14~20 msに抑制された。

図4 高周波パルス溶接における溶滴移行観察.

図4に高周波パルスCO₂アーク溶接における溶滴移行観察結果を示す。溶滴の成長および移行過程は、a)アーク熱による溶滴の成長、b)パルス電流による溶滴振動の発生と溶滴つけ根部でのくびれ形成、c)溶滴くびれの成長、d)溶滴の離脱に大別された。中でも、b)の現象は高周波パルス溶接の特徴的な現象として観察されたが、その発生機構として、溶滴の固有振動数とパルス周波数の共振によって溶滴振動が生じ、その結果、ノンパルス溶接の場合よりも小さい溶滴でくびれが生じたと推定された⁽¹⁰⁾。さらに、パルス電流波形においてピーク電流が流れる時、溶滴くびれ部分には強い電磁ピンチ力が作用するため溶滴は容易に離脱し、図1に示した高周波パルス領域で溶滴の微細化が達成されたものと考えられた。なお、高周波パルス領域で溶滴移行間隔が14~20 msと非常に安定化する現象は、溶滴の微細化によって溶滴の大きな上下動が抑制されたこと、および高周波パルス化することでピーク電流による溶滴離脱タイミングが高頻度になったことによると推定された。

3. 高周波パルスCO₂アーク溶接法の効果

CO₂アーク溶接のグロービュール移行におけるスパッタ発生形態には、①短絡後の再アーク時にアーク力によって溶滴が飛散、②溶滴移行時に溶滴が不安定になりアーク力で飛散等が挙げられるが、いずれも主な発生原因は溶滴成長過程で溶滴が大きく揺動し溶滴移行が不規則になることにある⁽⁴⁾。したがって、溶滴を微細化し上下揺動を抑制できる高周波パルス溶接法は、スパッタ抑制に有効であると考えられる。

図5に、625 Hzの高周波パルス溶接におけるスパッタ粒径分布をノンパルス溶接と比較した結果を示す。本研究で開発した高周波パルス溶接によって発生するスパッタは小粒となり、粒径0.1 mm以下の比率は52%から78%に増加した。

さらに、スパッタ総発生量は従来比で70%低減しており、ビード近傍に付着するため問題視される粒径0.5 mm以上の大粒のスパッタは1.5 g/minから0.2 g/minに激減した。

図6に従来のノンパルス溶接と高周波パルス溶接(I_p 500

図6 溶接ビード外観と断面マクロ。

図5 スパッタ発生量とその粒径。

A, 625 Hz)のビードオンプレート溶接外観と断面マクロを示す。溶接条件はともに平均溶接電流 300 A, アーク電圧 33 V, 溶接速度 40 cm/min とした。高周波パルス溶接法ではビード近傍への大粒のスパッタ付着がほとんど認められずスパッタの低減効果が確認された。また、断面マクロから高周波パルス溶接の溶込み深さはノンパルス溶接の1.3倍であることも確認された。パルス電流を採用したことでノンパルス溶接よりも実効電流値が増加(1.2倍)し、溶接アークによるガウジング力が増加したためと考えられ、安定した溶け込みを確保する上でも本溶接技術が有効であることが示されている。

4. 実績と将来性

高周波パルス CO₂ アーク溶接法は、高価な Ar ガスを主体とする MAG 溶接法の代替においてはガスコストの削減が可能となる。この観点から、既に、従来は MAG 溶接法が用いられていた建設機械台座の円周溶接に本溶接法が適用されている。本溶接法での低スパッタ性が確認されると同時に、良好なビード形状が得られることも確認されており、今後、高

品質が要求される溶接、あるいはスパッタ低減が要望されるノンパルス CO₂ アーク溶接への適用拡大が期待される。

また、高周波パルス CO₂ アーク溶接技術の開発で明らかにした溶滴振動によって n パルス 1 溶滴移行を実現する手法は、国内はもとより海外でも例のない新しい試みであり大きな注目を集めている。本知見は、アーク現象および溶滴移行現象の解明にも寄与すると考えられ、新たなアーク溶接技術開発への展開が期待される。

5. 工業所有権

本開発技術に関しては、基本特許として特許第3465647号および特開2001-129668を、関連特許としてさらに2件を出願している。

文 献

- (1) 松井仁志, 鈴木 弘: 第127回溶接法研究委員会, (1990), SW-1999-90.
- (2) 安藤弘平, 山本利雄: 溶接学会講演概要集, **31**-218(1962), pp. 60-61.
- (3) 山田忠昭: 神戸製鋼技報, **31**, pp. 69-72.
- (4) 片岡時彦, 池田倫正: 溶接学会講演概要集, **71**-212(2003), pp. 80-81.
- (5) 三田常夫: 電流波形制御による炭酸ガスアーク溶接のスパッタ低減に関する研究, (1991).
- (6) 菅 哲男, 牛尾 誠: 第148回溶接法研究委員会, (1994), SW-1999-90.
- (7) 王 静 波, 印 南 哲: 溶接学会講演概要集, **61**-135(1997), pp. 72-73.
- (8) 片岡時彦, 池田倫正: 溶接学会講演概要集, **70**-113(2002), pp. 28-29.
- (9) 片岡時彦, 池田倫正: 第181回溶接法研究委員会, (2003), SW-2893-03.
- (10) 平田好則, 辻村晃介: 溶接学会講演概要集, **73**-303(2003), pp. 186-187.