第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向

Ⅱ 溶接・接合プロセスとシステム化技術

1. アーク溶接プロセス

Arc Welding Processes

宮坂 史和*

by MIYASAKA Fumikazu*

キーワード：アーク、溶接プロセス、シミュレーション、可視化

1.1 はじめに

近年のアーク溶接プロセスに関するシミュレーション技術の目覚ましい発展にともない、従来とは異なった発想によるアーク溶接プロセスが検討されるようになってきている。また、計測技術の向上によって、これまで困難であったシミュレーション結果の検証が可能となり、アーク溶接現象の、より深い理解が可能となった。シミュレーション技術・計測技術のそれぞれの向上によって、これまでは、主に定性的予測にとどまっていたシミュレーションが、定量的予測への展開が求められるようになってきている。

ここでは、過去2年間の公表文献に基づいてアーク溶接プロセスに関する最近の話題・動向に関して紹介する。

1.2 シミュレーション

溶接プロセスモデルとして大別すると、電極側（非消耗電極、溶接ワイヤ）の現象・アークプラズマ・母材側（溶込形状、溶融金属対流、熱変形、凝固組織）現象に分けられる。

消耗電極のシミュレーションとしては、ハイブリッドワイヤ（二重構造）の材料物性がアーク及び溶滴移行の安定性に与える影響に関して検討がなされ（図1）、ワイヤ先端形状が溶接現象に大きく影響することが確認されている^{1, 2)}。また、溶滴移行現象そのものもモデル化が検討されており、ワイヤ先端に形成される溶滴形状が、重力・表面張力・電磁ピンチ力を考慮に入れたモデルによって、シミュレーションされており、電流の上昇に伴って移行現象がスプレー移行に遷移していく様子が、定性的に示された^{3, 4)}。次にアークプラズマに関するモデルに関しては、TIG アークのモデルの発展が目覚ましく、電流変化の影響に関してはもちろんのこと、金属蒸気の影響までもモデル化の対象となっており（図2）、モデルの定量的な評価も可能なレベルになってきている⁵⁻¹²⁾。また、より現実に近付けるため非軸対称のモデルの開発も進んでおり、磁界によるアーク形状のひずみのモデル化がな

されている¹³⁻¹⁵⁾。そして、母材溶融現象のシミュレーションに関しては、溶融池内の対流現象を無視した簡易モデルの GMA 溶接への適用が検討され、実験結果と良好な一致を示すことが確認されている¹⁶⁻¹⁹⁾。

1.3 現象の観察

計測機器の進歩に伴い、より精細に溶接現象を観察可能になってきている。温度計測に関しては、2色温度計測によって GMAW の溶滴の温度の計測が可能になっており、MAG・CO₂で溶滴の温度分布や電流依存性に関する詳細な計測データが示されている。また、溶融池の温度計測も行われており、GMA では GTA と違って熱源直下に最高温度が現れないことが示されている²⁰⁻²²⁾。GTA においても電極先端の温度分布が測定されており、電流密度と表面温度の関係が調査されている²³⁾。溶接中のワイヤ先端の挙動も高速度カメラによって詳細に計測が可能になり、金属蒸気等が、電流経路やスパッタの発生現象にどの様に影響を与えているかということが観察されている。これまで想像で議論されていたような現象が、実際に目に見えることによって、新たな材料やプロセスを提案するツールへの展開が進んでいると考えられる（図3）²⁴⁻²⁸⁾。また基礎的な現象に関する観察も進んでおり、タンデム GMAW における、ガス組成とスパッタ発生量の関係や GMAW 開先溶接における、開先内部での陰極点の挙動と欠陥の発生に関して詳細な調査が行われている²⁹⁻³¹⁾。

1.4 新技術

従来の溶接法を複数組み合わせることで、より高効率

図1 ハイブリッドワイヤの解析結果²⁾（融点温度差の影響）

原稿受付 平成21年5月8日

*正 員 大阪大学 Member, Osaka University

図2 金属蒸気を考慮したアークモデル⁹⁾

Polarity	Electrode positive	Electrode negative	Electrode negative
Welding wire	W0 (Si-Mn-Ti)	W0 (Si-Mn-Ti)	W5 (Si-Mn-Ti-REM)
Welding current 100A			
Welding current 300A			

図3 極性とワイヤの違いが CO₂ アーク現象に与える影響²⁸⁾

な溶接を目指したハイブリッド型の溶接法がいくつか提案されている。プラズマ・アークハイブリッド溶接では、極性の影響を検討し、プラズマ、アーク共に正極性とするにより幅広で安定なビードが得られることが示されている^{32, 33)}。また溶接電源の進化に伴い、従来から提案されていたプラズマ GMA (MIG) ハイブリッド溶接が実用化に向けて検討されている。対象とする材料もアルミニウム合金だけでなく鋼材への展開も図られた³⁴⁻³⁸⁾。また、A-TIG から発展した AA-TIG 溶接法に関しても現象観察が進んでおり、シールドガス中の酸素量の影響が検討されている³⁹⁾。一方で、シミュレーションからプラズマアーク溶接現象の解析がなされ、その結果からプロセスの評価も行われるようになってきている。この様に、新技術の開発のツールとしてシミュレーションという選択肢が根付いてきている⁴⁰⁾。中空電極を利用した溶接法も徐々に開発が進んできている。大気圧中で中空電極を用い電極先端からのガス流量を少なくすることにより、アーク圧力を低減させた溶接法が提案されている。この手法でもシミュレーション技術が用いられており、計算結果からも予測されたような溶融特性が確認された⁴¹⁾。TIG 溶接に置いて、電極付近にコイルを配置することにより、重力による溶融池の垂れ落ちを制御する ECMP 法の提案・開発が進展しており、上向き・横向き姿勢におけるビード形状の制御法に関してシミュレーションを用いてその現象の解明が進められた⁴²⁾。低圧雰囲気におけるアーク溶接法として、GHATA 及び HCA 溶接法が提案・検討がなされている。アルミニウム合金の溶接性の検証や作動ガスの違いによるアーク特性の変化が調査されている⁴³⁻⁴⁵⁾。

1.5 おわりに

アーク溶接プロセスに関する最近の動向に関して、シミュレーション・現象観察・新技術の三つに分類してまとめた。しかしながら、近年の計測技術の進歩によって、従来困難であった現象観察が容易になり、詳細な現象の観察から新しい溶接技術創成のきっかけになったり、計算機の能力の向上によって新たな溶接現象の予測が比較的手軽に可能となってきている。これまでは現象観察しその結果をシミュレーション結果から説明する、逆にシミュレーションの結果を現象観察によって確認するといったサイクルに非常に大きな手間と時間を要していたが、今後はこのサイクルが短くなり、これまでになかったような発想で新たなアーク溶接技術開発がおこなわれる様になっていくと考えられる。

文 献

- 1) 中村ら：講演概要, 81 (2007), pp.274-275
- 2) 中村ら：講演概要, 82 (2008), pp.218-219
- 3) 門田ら：講演概要, 83 (2008), pp.352-353
- 4) 平田ら：論文集, 25-3 (2007), pp.421-425
- 5) 田代ら：講演概要, 82 (2008), pp.214-215
- 6) 田代ら：講演概要, 83 (2008), pp.340-341
- 7) 山本ら：講演概要, 83 (2008), pp.342-343
- 8) 田中ら：論文集, 25-2 (2007), pp.336-342
- 9) 山本ら：論文集, 25-3 (2007), pp.443-449
- 10) 田代ら：論文集, 26-1 (2008), pp.111-116
- 11) 田代ら：講演概要, 81 (2007), pp.268-269
- 12) 山本ら：講演概要, 81 (2007), pp.270-271
- 13) 野村ら：講演概要, 81 (2007), pp.294-295
- 14) 野村ら：講演概要, 82 (2008), pp.216-217
- 15) 野村ら：講演概要, 83 (2008), pp.348-349
- 16) 田中ら：講演概要, 80 (2007), pp.4-5
- 17) 金子ら：論文集, 25-2 (2007), pp.372-380
- 18) 若松ら：論文集, 25-3 (2007), pp.431-435
- 19) 吉山ら：講演概要, 82 (2008), pp.30-31
- 20) 宮廻ら：講演概要, 83 (2008), pp.328-329
- 21) 山崎ら：論文集, 26-3 (2008), pp.214-219
- 22) 和木ら：講演概要, 81 (2007), pp.290-291
- 23) 田代ら：講演概要, 80 (2007), pp.112-113
- 24) 西村ら：講演概要, 80 (2007), pp.10-11
- 25) 片岡ら：論文集, 25-4 (2007), pp.480-485
- 26) 山崎ら：講演概要, 82 (2008), pp.42-43
- 27) 石田ら：講演概要, 82 (2008), pp.44-45
- 28) 片岡ら：論文集, 26-1 (2008), pp.37-41
- 29) 篠原ら：講演概要, 81 (2007), pp.292-293
- 30) 高橋ら：講演概要, 82 (2008), pp.38-39
- 31) 小川：講演概要, 83 (2008), pp.334-335
- 32) 松下ら：講演概要, 80 (2007), pp.12-13
- 33) 松下ら：講演概要, 80 (2007), pp.14-15
- 34) 浅井ら：講演概要, 80 (2007), pp.20-21
- 35) 田中ら：講演概要, 80 (2007), pp.16-17
- 36) 大細ら：講演概要, 80 (2007), pp.18-19
- 37) 田中ら：講演概要, 82 (2008), pp.220-221
- 38) 小野ら：講演概要, 83 (2008), pp.326-327
- 39) 権藤ら：講演概要, 83 (2008), pp.332-333
- 40) 宮田ら：講演概要, 83 (2008), pp.336-337
- 41) 田代ら：論文集, 25-1 (2007), pp.3-9
- 42) 真鍋ら：講演概要, 81 (2007), pp.296-297
- 43) 吹田ら：講演概要, 81 (2007), pp.300-301
- 44) 吹田ら：論文集, 25-4 (2007), pp.494-500
- 45) 山部ら：講演概要, 81 (2007), pp.298-299