

埋もれアーク現象を利用した高能率厚板溶接の適用拡大に関する研究



特集
接合科学研究所
産学連携シンポジウム

ダイヘン溶接・接合協働研究所
招へい研究員 門田 圭二氏

1. はじめに

株式会社ダイヘンは、2019年4月より大阪大学接合科学研究所に、ダイヘン-大阪大学による産学連携の拠点としてダイヘン溶接・接合協働研究所を設置した。研究所設立の主な趣旨は、高品質・高効率溶接プロセスの性能向上と適用範囲拡大である。ダイヘンの溶接電源および周辺機器の開発力に、大阪大学の世界的学術研究における知見を融合させ、世界トップレベルの新接合技術溶接法の高機能化、接合信頼性の予測・評価技術の開発を実現することで、趣旨の達成を目指している。本稿では、その一環として、埋もれアーク現象を利用した溶接法に関して、その適用範囲拡大を目指す研究について解説する。

2. 埋もれアーク溶接

埋もれアーク溶接について説明する。埋もれアーク現象は、図1のように、ワイヤ先端位置が溶融金属表面よりも深い位置でアークが発生する状態を意味する。埋もれアーク溶接では、母材のより深い部分までアークの熱を伝えられるため、一般的なガスシールドアーク溶接と比較して、深い溶込みを得ることができる。

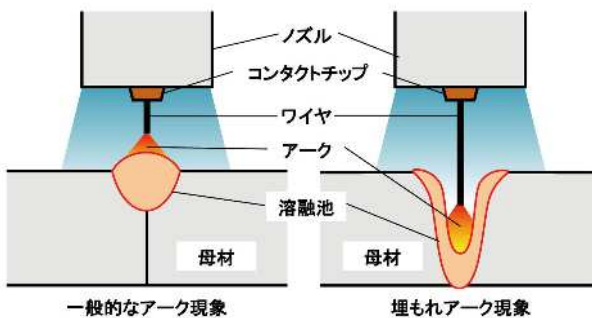


図1 埋もれアークと一般的なアーク現象との比較模式図

厚板のガスシールドアーク溶接では一般的に、母材底部を十分に溶融させるために開先を広く取り、

多層溶接によって接合を行う。そのため、溶接作業工数の増大や、繰り返し入熱に起因する溶接変形量の増大が大きな課題となる。一方、埋もれアーク溶接では深い溶込みが得られるため、狭開先でも母材底部を十分に溶融することができ、パス数の削減による溶接工数や溶接変形量の低減、ならびに溶接材料の使用量低減などの効果がある。

3. 高電流埋もれアーク溶接の安定化制御の開発

厚板溶接の高能率化に対して効果的な埋もれアーク溶接であるが、一方で、アークが不安定化しやすいという欠点がある。埋もれアークが不安定化すると、溶接ビードは大きく乱れ、大粒のスパッタも多量に発生する。そこで筆者らは協働研究所設立以前より、大阪大学接合科学研究所の田中学教授との共同研究を通じて、特に高電流域における埋もれアークの安定化制御の開発を行ってきた。ここではその内容について紹介する。

はじめに、埋もれアーク現象の詳細な解析を目的として、X線透過観察装置（大阪大学接合科学研究所所有）を用いて、上記の不安定な埋もれアーク現象の観察を行った。観察結果の例を図2に示す¹⁾。溶接方向は図の右から左の方向で、各図の中央近傍に見える白い部分は、溶融池内部に生じたアークによって押し広げられた空間（以後、埋もれ空間と呼ぶ）を示している。図2(a)(b)のような状態が不規則に繰り返され、ワイヤ先端位置および埋もれ空間が揺動していることが分かった。

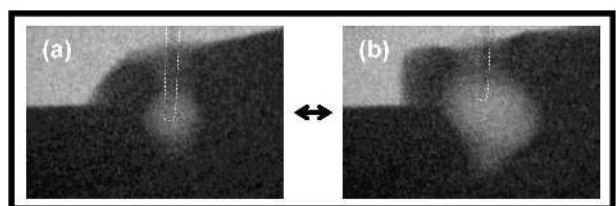


図2 X線による埋もれ空間挙動の観察

観察結果をもとに、埋もれアーク溶接における溶接の不安定化メカニズムを次のように考察した。埋もれアーク溶接においては、埋もれ空間を形成する溶融金属の側壁が中央に向かって流れ込もうとし、それによって埋もれ空間の径が小さくなる。埋もれ空間の径が小さくなると、アーク力が溶融金属の側壁を強く押し戻そうとし、埋もれ空間の径は大きくなる。これが繰り返されることで、埋もれ空間および溶融金属が大きく揺動してしまい、埋もれアークが不安定化すると推測した。したがって埋もれアークを安定化するためには、埋もれ空間の側壁部分を、何らかの方法で押し支えるのが効果的であると考えた。

そこで筆者らは、埋もれアークを安定化するための溶接電流・電圧波形制御として、定電圧特性の溶接電源を用いて電圧を周期的に変化させる「電圧振幅制御」を開発した。電圧振幅制御においては、高電圧条件と低電圧条件が周期的に繰り返され、それぞれの期間で異なる溶滴移行形態を利用している。電圧振幅制御を適用した場合のアーク現象を高速カメラにより観察した。観察結果を図3に示す。ワイヤ送給速度は40m/分、溶接電流は570A、アーク電圧は 48 ± 10 V、振幅周波数は100Hzとした。溶接ワイヤはワイヤ径1.2mmのソリッドワイヤを、シールドガスには炭酸ガスを用いた。図3(A)は、低電圧条件の様子を示している。溶滴移行形態はドロップ移行となり、アークによる入熱は埋もれ空間底部に集中し、深溶込みに寄与していると推測される。一方、高電圧条件では、図3(C)に示すように

溶滴移行はローテーション移行となり、溶融したワイヤが回転する。アークはワイヤの動きに伴い回転して、埋もれ空間の側壁を押し広げることで、埋もれ空間の安定維持に寄与していると考えられる。このように、2種類の溶滴移行形態を安定的かつ周期的に繰り返すことにより、深溶込みかつ安定した埋もれアーク溶接が実現されている。

4. 埋もれアーク溶接のシミュレーション

電圧振幅制御の開発により、深い溶込みと埋もれアークの安定化を両立することができた。協働研究所の設立以降は、この溶接法を様々な材質、ワイヤ径、シールドガスなどの条件下でも使用できるよう適用範囲の拡大を目的に、安定化制御の効果の定量的評価・分析を目指している。

電圧振幅制御の開発においては、X線透過観察装置や高速カメラによる溶融プール挙動の観察結果や溶接後の外観から、埋もれアークの安定性を定性的に評価してきたものの、定量的な評価・分析は十分ではない。上記の観察装置では埋もれ空間形状の3次元的な計測が困難であることが大きな理由である。そこで本研究では、粒子法の一つであるSPH法 (Smoothed Particle Hydrodynamics)²⁾を用いた数値シミュレーションにより、埋もれアーク溶接の安定性を定量的に解析することを目指した。粒子法は、埋もれアーク中の溶融池挙動のように、複雑な変形を表現することが得意な流体計算の手法である。なお、本研究においては、接合科学研究所の田中教授に加えて熊本大学の寺崎秀紀教授、古免久弥助

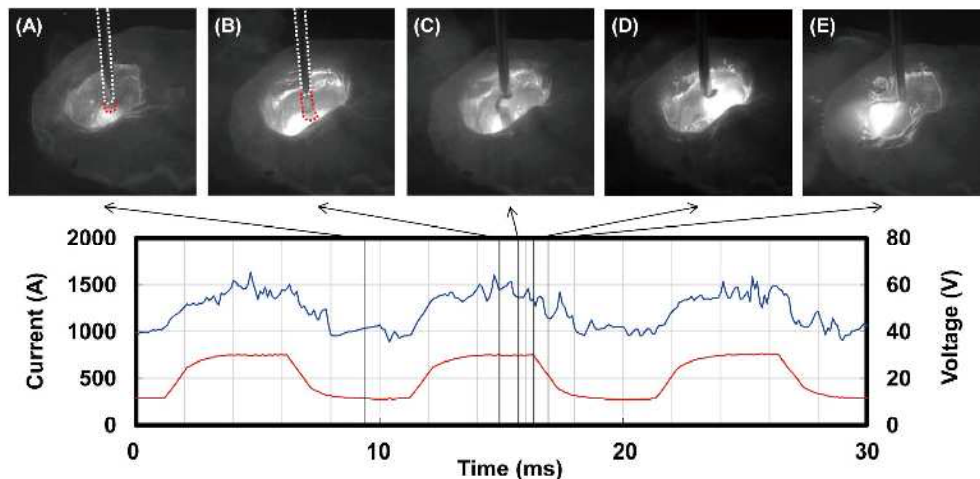


図3 電圧振幅制御適用時の埋もれアーク挙動の観察

教にもご協力いただき、研究を進めた³⁾。

図4は前述の電圧振幅制御における低電圧条件を模擬した場合、図5は高電圧条件を模擬した場合の計算粒子の速度分布を示している。いずれも溶接線中央の断面の時間変化であり、図の左上から右下に向かって時間が進行している。図4の低電圧条件では、埋もれ空間は下に押し広げられ溶込みが深くなっている。しかしフレーム(c)から、溶融金属の左上方が埋もれ空間中央に向かってせり出し始め、フレーム(f)では埋もれ空間に溶融金属がなだれ込み埋もれ空間が小さくなっていることがわかる。低電圧条件の計算では、この現象が繰り返された。

一方の高電圧条件では、埋もれ空間は水平方向に広く押し広げられており、低電圧条件と比較して溶

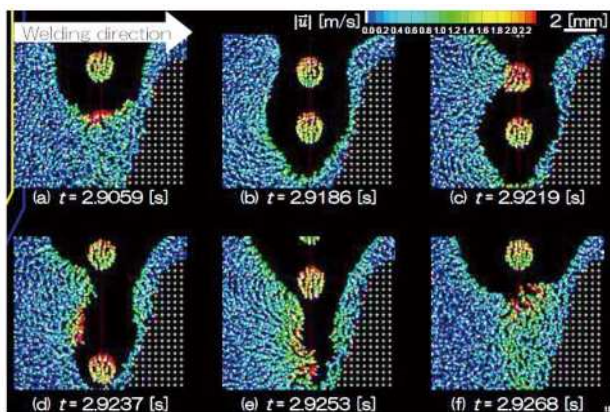


図4 低電圧条件における埋もれ空間のシミュレーション結果

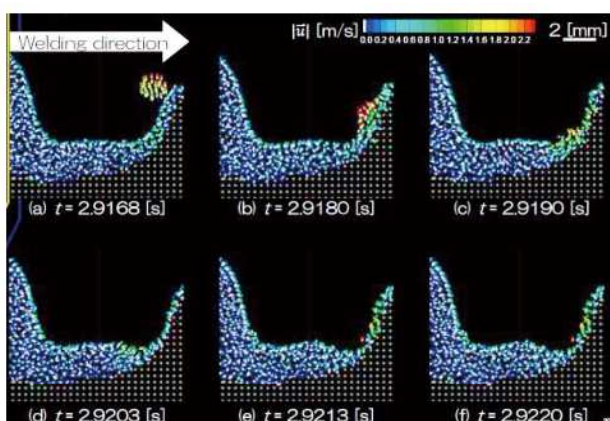


図5 高電圧条件における埋もれ空間シミュレーション結果

込みが浅くなるものの、側方の溶融金属がせり出すことはなく埋もれ空間形状は安定している。

このように、数値シミュレーションにおいて、埋もれアーク現象における低電圧条件での溶融池の不安定挙動と、高電流条件での溶融池安定化を表現することができた。今後は埋もれアーク溶接の適用材料拡大を目指し、様々な材料における電圧振幅制御の最適化を、本シミュレーションモデルを活用することで加速させていきたいと考えている。

5. おわりに

今までにない、ダイヘンならではの溶接を開発しお客様に提供したい。高電流埋もれアーク溶接はそういった思いで開発してきた溶接のひとつである。当初から大阪大学と協力して開発を進めてきたが、協働研究所設立後はさらに活動の枠を広げ、熊本大学を含めた産・学・学連携の共同研究により、シミュレーションモデルを開発し、埋もれアーク現象のより深い理解に繋がっている。またその成果を広く発表することで、埋もれアーク溶接の認知度はいっそう高まっており、ユーザもますます増えてきている。

アーク溶接が広く普及して久しいが、高電流埋もれアーク溶接のように、まだまだ可能性を秘めている技術であると改めて感じている。新しい技術を切り拓くには、今回紹介した内容のように、様々な分野に長けたパートナーとの協力が必要である。今後も協働研究所を中心に、様々な研究分野の知見を取り入れながら、革新的な溶接技術の開発を進め、日本のモノづくりを盛り上げていきたい。

参考文献

- 1) 馬場ら, 溶接学会全国大会講演概要, 第98集 (2016s) pp.170-171.
- 2) L. B. Lucy, The astronomical journal, 82 (1977) pp.1013-1024.
- 3) 古免ら, Journal of Advanced Joining Processes, vol.1 (2020) 100019.