

微細WAAMプロセスに向けた細径ワイヤGMA溶接プロセスにおける溶滴移行現象の基礎的研究

荻野 陽輔

大阪大学大学院工学研究科

1 はじめに

金属3Dプリンティングプロセスは、高効率、高付加価値なものづくりプロセスとして、近年急速に研究・開発が進められている技術である。現在、金属3Dプリンティングプロセスとしては、金属粉末を敷き詰めたテーブルに対してレーザなどの高パワービームを照射する、パウダーベッド方式のプロセスが主流であり、プロセス条件の最適化等により作製される構造物の形状や性能が作りこまれている。これに対して、本研究ではワイヤ材料をアークプラズマにて溶融させるワイヤアーク方式のプロセス（WAAM：Wire-Arc Additive Manufacturing）に注目する。WAAMプロセスは、粉末材料を使用するプロセスと比較して、高効率に構造物を作製することのできる特徴を有する一方で、作製できる構造物の精密さは劣る傾向にある。これは、WAAMプロセスにおける溶滴あるいは溶融池の大きさが、パウダーベッド方式のものと比較して大きくなる傾向にあるためと考えられることができる。

本研究においては、これまでにはない高精細なWAAMプロセスを開発することを見据えて、溶滴・溶

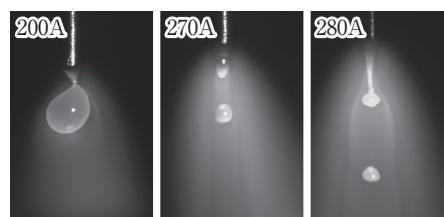
融池サイズを縮小してコントロールすることを目指す。ここでは、細径ワイヤを利用したガスメタルアーク溶接プロセスにおける溶滴移行現象に着目し、実験観察を通じてその特性を把握、コントロールすることについて検討した結果について報告する。

2 実験方法

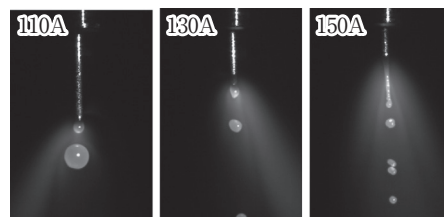
写真1に本研究で使用した実験装置の概観写真を示す。本研究ではワイヤ送給装置により送られるワイヤを、溶接トーチ上部から連続的に挿入することによって、ガスメタルアーク溶接の状況を作り上げている。溶接トーチは定電流電源に接続されており、シールドガスも電源を介して供給されている。このような本研究の装置構成においては、アーク電流の値とワイヤ送給速度の値は独立して与えられるものとなっている。本報告においては、電極ワイヤには純鉄、シールドガスには純アルゴンガスを用いている。電流値およびワイヤ送給速度を変化させながら実験を実施し、高速度カメラを用いて溶滴移行現象を観察した。一定電流を付加することで、溶



写真1 実験装置の概観



(a) φ1.2mmの純鉄ワイヤにおける溶滴移行形態



(b) φ0.5mmの純鉄ワイヤにおける溶滴移行形態

図1 溶滴移行形態に対してアーク電流が及ぼす影響

滴移行現象の電流値依存性について把握した後、矩形波パルス電流を用いて溶滴移行現象をコントロールすることを試みた。

3 研究成果

図1(前ページ)に $\phi 1.2\text{mm}$ および $\phi 0.5\text{mm}$ のワイヤを用いた際の、溶滴移行現象を観察した結果を示す。 $\phi 1.2\text{mm}$ のワイヤを用いた場合、200A程度の電流を用いた場合においては、溶滴がワイヤ端に懸垂した状態で大きく成長するグロービュール移行を呈する。一方で、270~280A程度まで電流値を上昇させることにより、細かな溶滴が離脱するスプレー意向を呈するようになる。このように、電流値が大きくなることによって溶滴移行形態が遷移し、溶滴のサイズは小さくなる。これに対して、 $\phi 0.5\text{mm}$ のワイヤを用いた場合においては、110A程度の電流を用いた場合においてはグロービュール移行が見られ、130~150A程度の電流を用いた場合においては、溶滴サイズが小さくなりスプレー移行へと遷移した。図2に示しているのは、電流値に対する溶滴移行の周波数の変化をまとめたものである。 $\phi 1.2\text{mm}$ のワイヤにおいては、260~270A付近にて周波数が不連続的に増加しており、これが溶滴移行形態がグロービュール移行からスプレー移行へと遷移する電流である。一方で $\phi 0.5\text{mm}$ のワイヤを用いた場合においては、 $\phi 1.2\text{mm}$ の場合に見られたような、周波数の不連続的な変化は見られない。このように細径ワイヤを用いた場合には、溶滴移行形態は急激に変化せず徐々に変化する。これは、アークプラズマと電極ワイヤの接触状態の違いによるものと考えている。

この実験観察結果を踏まえて、十分に溶滴が小さくなりスプレー化すると考えられる電流として、 $\phi 1.2\text{mm}$ ワイヤにおいては280A、 $\phi 0.5\text{mm}$ ワイヤにおいては150Aを選定し、これをピーク電流とするパルス電流を用いて溶滴移行現象のコントロールを試みた。ベース電

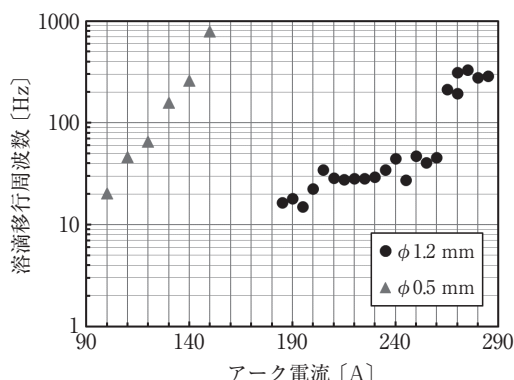


図2 アーク電流と溶滴移行周波数の関係

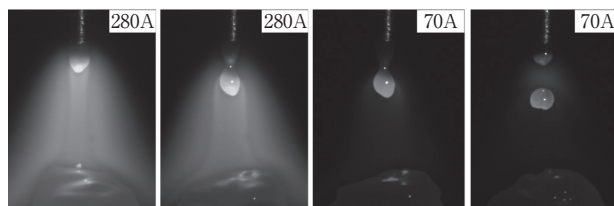
流はピーク電流の4分の1程度とし、ピーク電流を通電する時間を調整して、1周期のパルス電流に対して1つの溶滴が離脱する1パルス1ドロップ移行となる条件を探索した。図3にその結果を示すが、 $\phi 1.2\text{mm}$ および $\phi 0.5\text{mm}$ それぞれのワイヤにおいてピーク電流期間中に溶滴が成長し、ベース電流期間において溶滴の離脱する1パルス1ドロップ移行となる条件を得ることができた。このように、細径ワイヤを用いた場合においても、溶滴移行現象をコントロールすることが可能であると考えており、溶滴サイズのコントロールへとつながるものといえる。

4 おわりに

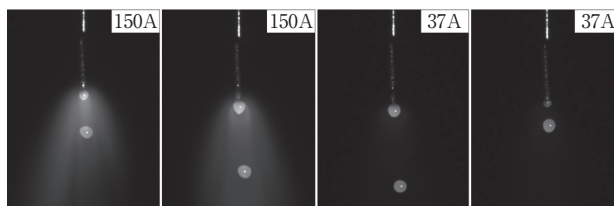
本報告においては、高精細なWAAMプロセスを見据えて、細径ワイヤにおける溶滴移行現象について検討を行った。現象の真なるコントロールのためには、これを正しく解明することが不可欠であり、数値シミュレーション技術との融合などを検討していく。一方で、安定したプロセスを達成するためには細径ワイヤを安定して送給することが不可欠である。本報告で用いた送給装置は試作段階にあるものであり、最適化できていない(Amazonで購入したものを改造した)。今後においては、実験装置の再構築を含めて検討する必要がある、アドバイスをいただけると幸いです。

謝辞

本研究は、日本溶接協会2022年度「次世代を担う研究者助成事業」の助成を受けて遂行されたものです。本研究の遂行にあたって、実験装置の構築をご助力いただいた川原隆技術職員、ともに実験に奮闘してくれた廣田稜己君にこの場を借りて感謝申し上げます。



(a) $\phi 1.2\text{mm}$ の純鉄ワイヤ (ピーク時間5.4ms)



(b) $\phi 0.5\text{mm}$ の純鉄ワイヤ (ピーク時間2.8ms)

図3 パルス電流による1パルス1ドロップ移行制御