

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06937

研究課題名(和文)数値シミュレーションによるガスメタルアーク溶接プロセスの制御技術の開発

研究課題名(英文)Development of a control technique of GMAW process by numerical simulation

研究代表者

荻野 陽輔(Ogino, Yosuke)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：30778262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：高品質なアーク溶接プロセスの達成に向けて、自作の数値シミュレーションモデルを用いて溶接電源・溶接材料・シールドガスが溶接中のアークプラズマや熔融金属の挙動に及ぼす影響について総合的に考察を行った。その結果、これらの挙動をコントロールし安定したプロセスを達成するためには、溶接電源やシールドガスに応じて溶接材料の特性を考える必要があり、特に溶接材料の表面張力や導電率が重要であることが分かった。本研究の成果は、溶接プロセスコントロールのための指針策定につながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, influence of the welding power source, the welding material and the shielding gas on the behavior of the arc plasma and the molten metal in gas metal arc welding process is numerically investigated to realize a high quality welding process. The results obtained shows that it is important to design the properties of the welding material depending on the properties of the welding power source and/or the shielding gas. Especially, the surface tension and the electrical conductivity are very important to determine the behavior of the arc plasma and the molten metal. There is a possibility to develop a guideline for controlling the welding process by using the results obtained in this study.

研究分野：アーク溶接プロセスの可視化・シミュレーション

キーワード：ガスメタルアーク溶接 数値シミュレーション アークプラズマ 溶滴移行 電流波形 シールドガス
溶接材料

1. 研究開始当初の背景

ものづくりの現場において、材料は切断や接合などといった様々な加工プロセスを経て構造物となり製品となる。ものづくり分野の国際競争が激しくなる中、加工プロセスの高品質・高効率化に対する需要が急速に高まっている。本研究では、材料と材料を接合する技術のひとつであるアーク溶接プロセスに注目する。アーク溶接プロセスでは接合対象となる材料と電極間においてアークプラズマを発生させ、そのエネルギーにより材料を溶融・凝固させることで接合が達成される。

溶接プロセスはその接合原理より、急熱・急冷された溶接部がそのまま製品の一部となる。そのため適切に施工がなされないと溶接部の強度や耐食性は劣化し、同時に変形や残留応力が発生するなど、溶接部品質の要求を満たさなくなることがある。また、この品質は溶接技術者・技能者の経験・ノウハウに大きく依存する。このように溶接部品質は非常にバラツキが大きく完全には保証されていないのが現状であり、不完全性が内包されている。このことから、溶接施工全体に対する管理と妥当性確認が重要であるとされている。そのため、現状においては、溶接プロセスそのものに要するコストのほかに、検査や試験に要するコストも大きな割合を占めている。

溶接部の品質保証のためには、溶接プロセスをコントロールすることが不可欠である。溶接プロセスのコントロールは主として溶接電源・溶接材料・シールドガスの3つの観点から検討がなされている。今後、より高度にコントロール可能な溶接プロセスを確立していくためには、溶接電源・溶接材料・シールドガスの影響ならびにその相互作用を明確にし、科学的な観点から深く考察することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では、溶接施工後の品質が保証される高品質・高効率な溶接プロセスの確立を最終的な目標とする。これに対して、本課題においては数値シミュレーションを用いてガスメタルアーク溶接中の現象を可視化する。特に、溶接電源・溶接材料・シールドガスがアークプラズマならびにワイヤ電極の溶融・離脱挙動に与える影響について明らかにする。本課題においては、申請者が自ら構築したシミュレーションモデルを使用する。

3. 研究の方法

本課題では、申請者らによって構築されたシミュレーションモデルを用いて、溶接電源・溶接材料・シールドガスがアークプラズマならびにワイヤ電極の溶融・離脱現象に及ぼす影響を明らかにする。本課題で使用するシミュレーションモデルは、アークプラズマとワイヤ電極の相互作用ならびに金属蒸気の影響を考慮したうえで、質量・運動量・エ

ネルギー・電流の保存則を連立して解くことにより、溶接プロセス中のアークプラズマならびに金属の挙動を解析する。

溶接電源・溶接材料・シールドガスの影響について総合的に考察し、安定した溶接プロセスを得るために必要な条件について考察する。その後、得られた知見をベースとして溶接プロセスコントロールのための指針を提案する。加えて、シミュレーション結果の検証実験により、妥当性を評価する。

4. 研究成果

図1にシミュレーションモデルの概略図を示す。計算領域内にアークプラズマ・ワイヤ電極・母材が含まれており、アークプラズマと金属の相互作用を考慮しながらシミュレーションを行う。

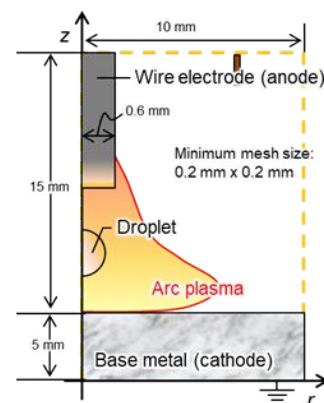


図1 シミュレーション対象

このシミュレーションモデルをパルスアーク溶接に適用した。ここでは、ピーク電流：450A、ピーク時間：1.5ms、ベース電流：50A、平均電流：150Aの矩形パルス電流を想定し、シールドガスは純アルゴンとした。ピーク期間終了直前のアークプラズマの温度分布ならびにワイヤ電極・母材の温度分布を図2に示す。電極が溶融し、母材へ移行する様子が見られる。また、アークプラズマの中心において低温な領域がみられるが、これは

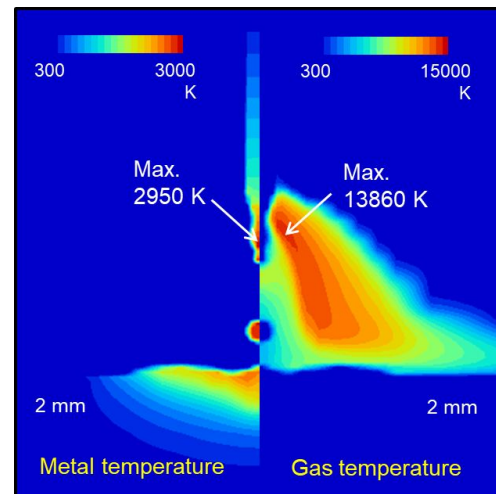


図2 パルスアーク溶接におけるアークプラズマと金属の温度分布

電極より発生した金属蒸気の影響である．ここで示したシミュレーション条件においては，1周期のパルスにおいて1つの溶滴が移行する「1パルス1ドロップ移行」となっていた．実験において同様の電流波形を用いて溶滴の挙動を観察したところ，シミュレーションと同様に1パルス1ドロップ移行となっており，シミュレーション結果は妥当性が示された．このシミュレーション結果に対して，次にパルス電流のピーク時間を変化させ1周期のパルスあたりに移行する溶滴の数をシミュレーションにより求め，プロットした結果を図3に示す．この図からわかるように，ピーク時間が長い場合にはパルスあたりに複数の溶滴が移行し，逆に短い場合には，1つの溶滴が移行するのに複数のパルスが必要となる．そして，その中間において，1パルス1ドロップとなる領域が存在する．このように，適切な電流波形を設定することにより，溶滴の挙動が電流波形とシンクロし安定したプロセスになることが示唆される．

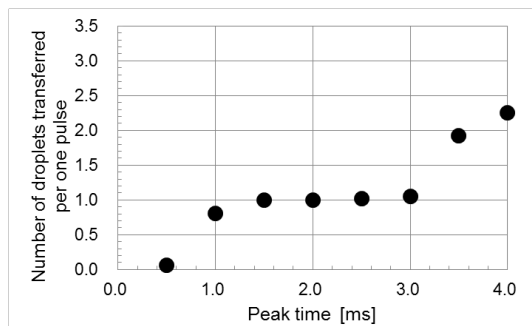


図3 ピーク時間と溶滴移行数の関係

次に，ワイヤ電極物性値の影響を調べるために，電極ワイヤの表面張力を変化させ，同様のパルス電流を用いてシミュレーションを行った．ピーク時間と1パルスあたりに移行する溶滴数の関係をまとめたものが図4である．この図からわかるように，表面張力が異なる場合，1パルス1ドロップとなるピーク時間も異なる．これは，これは，溶滴の離脱挙動が電磁力と表面張力のバランスで決まることを示している．すなわち，プロセスの制御を達成するためには電流波形とワイヤ電極の物性値の両面から検討することが必要であることが示唆された．

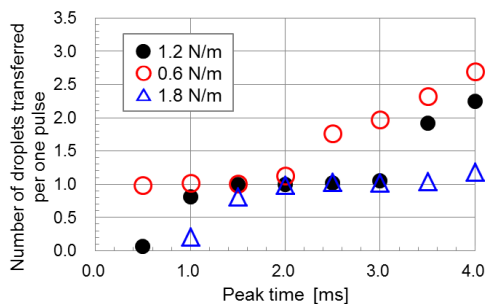
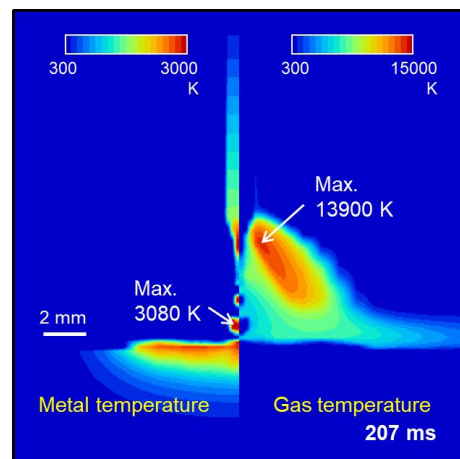
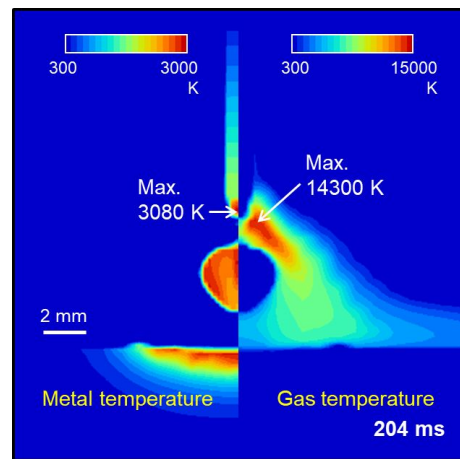


図4 表面張力が溶滴離脱に及ぼす影響

つづいて，シールドガスの影響についてシミュレーションを行った．ここでは，純アルゴンに加えて，炭酸ガスならびにアルゴン・炭酸ガスの混合ガスを対象とし，電流は一定電流としてシミュレーションを行った．電流を300Aとした場合のアークプラズマならびに金属の温度分布のシミュレーション結果を図5に示す．シールドガスがアルゴンの場合においては，溶融したワイヤが長く伸び小さな溶滴が離脱するスプレー移行になっているのに対して，炭酸ガスを用いた場合においては，溶滴が膨らむように大きく成長するグローブular移行となっていた．これは実験においても同様にみられる現象である．



(a) シールドガス：アルゴン



(b) シールドガス：炭酸ガス

図5 シールドガスの影響

このときの溶滴挙動に及ぼす因子について検討したところ，溶滴近傍における電流経路が強く影響していることが分かった．図6に示すように，アルゴンガスを用いた場合のように小さな溶滴が離脱する時には，溶滴近傍の電流経路が広がり溶滴を包み込むようなものとなっているのに対して，炭酸ガスの場合のように，溶滴の離脱がスムーズでなく大きく膨らむように成長するとき，溶滴の下端部において局所的に電流経路が集中していた．

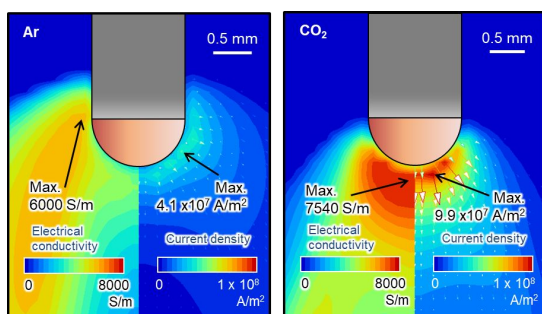


図6 シールドガスによる電流経路の違い

この結果を踏まえて、炭酸ガスにおいてもコントロールが容易となる細かな溶滴を離脱させるために次のような数値実験を行った。すなわち、溶滴下端近傍においては溶滴より発生した金属蒸気が多量に存在し、ここに電流経路が形成されることによって溶滴下端部に電流経路が集中することとなり、溶滴の離脱を阻害する。これに対して、溶滴より発生する金属蒸気の電気伝導率が低く、金属蒸気中に電流経路が形成されにくくなれば、電流経路はワイヤ近傍において広がりアルゴンガスの場合にみられたように細かな溶滴が得られると推測され、これをシミュレーションモデルにより検証した。

低電気伝導率の金属蒸気を仮定し、シミュレーションを行った結果を図7に示す。炭酸ガスを用いた場合においても、小さな溶滴がワイヤ先端より離脱している様子が見られた。溶滴挙動を制御するためには、シールドガスに応じた電極材料を選択することが重要であることが示されたといえる。

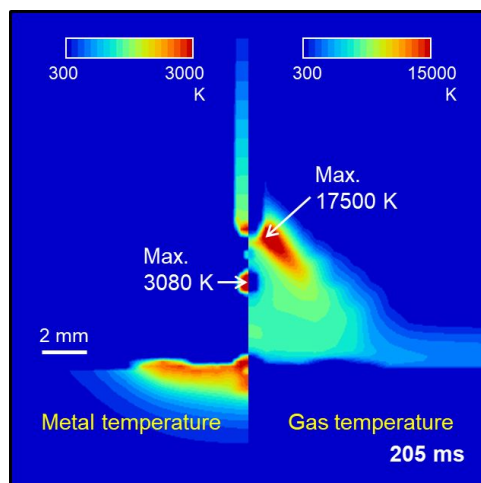


図7 低電気伝導率の金属蒸気を仮定したシミュレーション結果
(シールドガス：炭酸ガス)

以上のような本課題における検討により、アーク溶接プロセスの完全なコントロールを達成するためには、電流波形・シールドガス・ワイヤ電極物性値を総合的に検証する必要性が示された。特に、電流波形やシールドガスに応じて、ワイヤの表面張力や導電率といった特性を設定することが重要であることが示されたことにより、今後より高品質な

溶接プロセスを実現するために必要な材料特性の設計や電源特性の設計における指針が示されたものといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) Y. Ogino, Y. Hirata and S. Asai, Numerical simulation of metal transfer in pulsed-MIG welding, *Welding in the World*, 査読あり, Vol. 61, 2017, 1289-1296
DOI:10.1007/s40194-017-0492-3

〔学会発表〕(計6件)

(1) Y. Ogino, Numerical simulation of arc plasma and molten metal behavior in gas metal arc welding process, Fourteenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2017), 2017

(2) Y. Ogino, Numerical simulation describing influence of the shielding gas on the metal transfer phenomena in GMAW, The 70th IIW Annual Assembly, 2017

(3) Y. Ogino, Visualization of the metal transfer and the arc plasma behavior in GMAW by numerical simulation, The 70th IIW International Conference, 2017

(4) Y. Ogino, Numerical simulation of metal transfer phenomena depending on the material properties of wire electrode, *Vival-JW* 2016, 2016

(5) 荻野陽輔, パルスミグアーク溶接の統合数値シミュレーション, 平成 28 年度溶接学会秋季全国大会, 2016

(6) Y. Ogino, Numerical simulation of metal transfer in pulsed-MIG welding, The 69th IIW Annual Assembly, 2016

6. 研究組織

(1)研究代表者

荻野 陽輔 (OGINO, Yosuke)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30778262