



Title	アークプラズマと熔融池の相互作用を考慮した三次元 ティグ溶接モデルの開発
Author(s)	荻野, 陽輔
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34460
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (荻野陽輔)

論文題名

アークプラズマと溶融池の相互作用を考慮した三次元ティグ溶接モデルの開発

論文内容の要旨

本論文では、ティグ溶接プロセスを対象とした三次元数値解析モデルを開発した。ティグ溶接の溶融池や溶込み形状は熱源であるアークプラズマの温度分布や電流分布、流速分布に大きく支配される。このとき、高温のアークプラズマが溶融池と接触していることから、溶融池表面から金属蒸気が発生する。また、プラズマ気流が作用することで溶融池表面は凹み、溶融金属の流れを誘起する。このような、アークプラズマへの金属蒸気の混入や溶融池表面の形状の変化は、アークプラズマの熱源特性に影響を及ぼすことになる。そこで、アークプラズマと溶融池の相互作用を考慮したティグ溶接プロセスの数値解析モデルを構築した。

第1章では、本研究の背景ならびに目的と方針について述べた。アーク溶接プロセスは製造業の各分野で不可欠な技術であるが、欠陥のない健全な継手を得るため、実施工の前に試験板を用いて、母材や継手形状などの種類に応じた適正な溶接条件を実験的に確認している。また、このような確認試験を行っていても施工中の外乱によって、継手品質がばらつくことがある。これらはアーク溶接現象の複雑さに起因しているものである。そこで、本論文ではアーク溶接現象を定量的に理解し、さらには予測・制御へもつなぐことができる数値解析モデルを構築することを目的とした。

第2章では、溶融池表面が変形しないと仮定し、溶融池表面より発生する金属蒸気の影響を考慮した三次元ティグアーク溶融池モデルを構築した。ここでは、支配方程式・計算手法・計算に用いる仮定・境界条件などを詳細に記述した。

第3章では、第2章において構築したモデルを用いて解析した結果について述べた。まず、構築したモデルを二電極ティグアークプロセスに適用し、アークプラズマと溶融池の温度分布ならびに流速分布を解析した。実験ではアーク外観を撮影し、クレータ並びに溶込み断面形状を調べた。計算結果はいずれも実験結果と良い一致を示し、構築したモデルにより、溶接パラメータに対応した現象の変化を捉えることが可能であることを確認した。さらに開先継手や隅肉継手など施工現場で適用されている継手形状を想定した解析を行い、入熱分布や圧力分布などの熱源特性が継手形状によって変化することを示した。

第4章では、アーク圧力などの作用による溶融池表面の変形を表現できる溶融池モデルを構築した。ここでは、モデルの計算手法等を述べたのち、入熱や圧力などをガウス分布で与えた場合の解析結果を示し、溶融池表面の変形が溶込み形状に及ぼす影響を明らかにした。

第5章では、第4章で示した溶融池表面の変形を表現できる溶融池モデルに、アークプラズマモデルを組合せたティグ溶接の三次元統合モデルを構築した。本モデルを開先継手に適用し、溶込み形状を解析した結果、実験結果に良く一致した。このとき、アークプラズマから母材への入熱分布は電極先端と母材表面の位置関係によって変化することを明らかにした。さらに、隅肉継手ならびに大電流アーク溶接を想定したモデル解析を行い、以上の得られた結果から今後の課題ならびに展望についてまとめた。

第6章では、本研究で得られた結果を総括した。

本研究で開発した数値解析モデルは、気体アークプラズマとそれに接触している液体溶融池の挙動を電磁熱流体として同時解析することを可能にした。その結果、アーク溶接プロセスの可視化ならびに定量的理解を進めることができた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (荻 野 陽 輔)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	平田 好則
	副 査	教 授	浜口 智志
	副 査	教 授	田中 学
	副 査	准教授	茂田 正哉

論文審査の結果の要旨

本論文はティグ溶接プロセスを対象とした三次元数値解析モデルの開発過程をまとめたものである。ティグ溶接の溶融池や溶込み形状は、熱源であるアークプラズマの温度分布や電流分布、流速分布に大きく支配される。さらに、高温のアークプラズマが溶融池と接触していることから、溶融池表面から金属蒸気が発生する。また、プラズマ気流が作用することで溶融池表面は凹み、溶融金属の流れを誘起する。これらはアークプラズマへの金属蒸気の混入や温度分布に影響を及ぼすことになる。このように複雑なティグ溶接現象を定量的に理解し、さらには予測・制御へも応用するために、アークプラズマと溶融池の相互作用を考慮した数値解析モデルを構築している。

主な研究成果を要約すると、次のようになる。

- (1) アークプラズマと溶融池金属を電磁熱流体として扱い、輸送方程式と電磁方程式をそれぞれ適切な境界条件の下で解く三次元ティグアークモデルと溶融池モデルを作成している。
- (2) 三次元アークの典型例として、二電極ティグアークプラズマの温度分布と流速分布を数値計算し、水冷銅陽極上に発生させたアークプラズマの温度計測結果と比較し、両者が良く一致することを示している。
- (3) 陽極母材をステンレス鋼として、二電極ティグアークにより形成された溶融池の温度分布と流速分布を数値計算し、溶融池形状並びに溶込み断面形状のいずれも実験結果と良く一致することを示すとともに、溶接パラメータに対応した現象の変化を捉えることが可能であることを確認している。
- (4) 開先継手や隅肉継手など施工現場で適用されている継手形状を想定した解析を行い、入熱分布や圧力分布などの熱源特性が継手形状によって変化することを示している。
- (5) 溶融池表面を自由表面として扱い、VOF-PLIC法にCSFモデルを組合せることで、アーク圧力などの作用による溶融池の変形を精度良く表現できる溶融池モデルを作成している。
- (6) 溶融池モデルとアークプラズマモデルを組合せたティグ溶接の三次元統合モデルを開発し、開先継手の溶込み形状を数値解析し、実験結果に良く一致することを示している。このとき、アークプラズマから母材への入熱分布は電極先端と母材表面の位置関係によって変化することを明らかにしている。

以上のように、本研究では溶接時に共存する気体プラズマと溶融金属の流動と熱輸送を定量的に表現できる数値解析モデルを開発しており、学術的に重要な成果である。この成果は製造各分野で適用されている様々な溶接継手の溶込み形状の定量予測への応用も可能であり、溶接プロセスの信頼性と生産性の向上につながる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。