

日本溶接協会 2024 年度 「次世代を担う研究者助成事業」 成果報告

真鍮を対象としたティグ溶接中の 亜鉛蒸気挙動の解明

古免 久弥

大阪大学 接合科学研究所

1 はじめに

ティグ溶接はシールドガスに不活性ガスを用い、タングステンまたはタングステン合金を非溶極式電極とするアーク溶接法である¹⁾。ティグ溶接はアークプラズマを安定して維持できることや、高品質な溶接継手を得られることが長所として挙げられる。一方で、溶接中に主に熔融池から発生した金属蒸気は、電極に輸送されることで消耗を促進したり、アークプラズマの温度低下やふらつきなど熱源の挙動に悪影響をおよぼしたりすることで、不均一な溶接部形成の原因となる。これを防ぐためには金属蒸気挙動の理解と制御が必要であり、現象解明が試みられてきた²⁾。しかしながら、その全貌は明らかになっていない。

そこで本研究では、アーク溶接中に金属蒸気が多量に発生する母材として、低沸点の亜鉛を多量に含む真鍮に着目した。そして、この真鍮を母材としたティグ溶接を対象に画像分光分析を行うことで、その金属蒸気挙動を明らかにすることを目的とした。

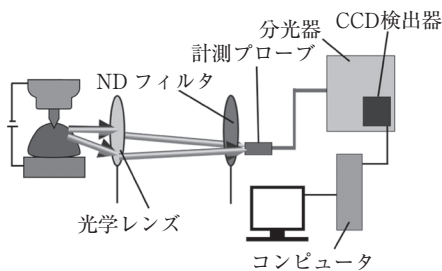


図1 発光スペクトル分析の実験システム

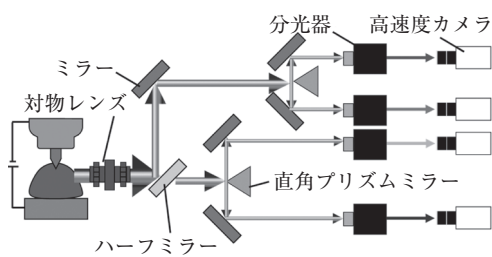


図2 画像分光分析の実験システム

2 実験方法

まずはアークプラズマ中に存在する化学種の線スペクトル波長を選定するため、発光スペクトル分析を実施した。図1に実験のセットアップの模式図を示す。この実験ではND16相当の減光フィルタを取り付けた計測プローブの位置に光学レンズを用いてアークプラズマを結像し、アークプラズマ中の発光スペクトルを分光器によって調査した。

その後、選定したヘリウム原子 (He I)、亜鉛原子 (Zn I)、一価の亜鉛イオン (Zn II)、銅原子 (Cu I) の各波長における線スペクトルの相対強度分布を取得した。図2に実験のセットアップの模式図を示す。アークプラズマの発光は対物レンズを通して集光され、ミラーによって4つの分光器に入射する。分光器では選定された線スペクトルのみが通過することで、その像を高速度ビデオカメラで記録した。

表1に実験条件を示す。母材には亜鉛を40wt.%含んだ真鍮を使用した。シールドガスには、アークプラズマ中に金属蒸気が多量に混入することが知られている²⁾純ヘリウムガスを使用した。

3 主な研究成果

図3に、発光スペクトル分析の結果を示す。これはタングステン電極先端直下のアークプラズマの測定結果である。データベース³⁾とこの測定結果を照らし合わせ、

表1 実験条件

溶接電流	150 A
シールドガス	純ヘリウム
ガス流量	15 L/min
電極材料	酸化ランタン入りタングステン
電極径	3.2 mm
電極先端角	60 deg.
突出し長さ	5 mm
アーク長	3 mm
母材	真鍮
組成	銅 60.1% 鉛 0.01% 鉄 0.01% 亜鉛 REM

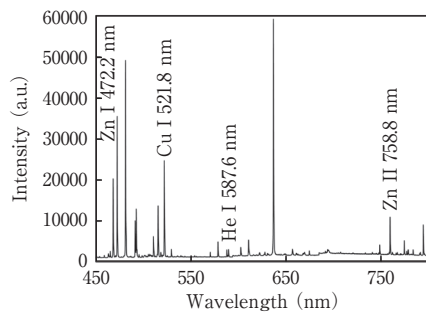


図3 電極直下の発光スペクトル分析結果

画像分光分析で対象とする線スペクトルを選定した。選定の基準は、①データベースに記載の値と一致する波長であること、②他の線スペクトルと被らないことの2点である。これらの条件を満たす線スペクトルとして、ヘリウム原子 (He I)、亜鉛原子 (Zn I)、一価の亜鉛イオン (Zn II)、銅原子 (Cu I) のそれぞれに対し、587.6 nm, 472.2 nm, 758.8 nm, 521.8 nm が確認された。

これらの波長 (化学種) の発光強度分布を図4に示す。図はアーク点弧直後の0.2秒後と、準定常状態になったと考えられる、点弧から10秒後の結果である。電極と母材領域を除き、色は各粒子の発光強度を示している。これらの結果は、図2に示した計測系で取得した2次元イメージ (積分強度分布) を、軸対称を仮定した逆 Abel 変換によって半径方向の強度分布に変換したものである。また、各図の左上の三角形の薄い灰色の領域と、下部の長方形の濃い灰色の領域は、電極と母材を示している。

図より、ヘリウム原子の発光強度はアーク点弧時がもっとも高く、点弧後は徐々に電極中心軸に向かって収縮するように発光が弱くなった。一方、亜鉛原子は溶融池表面近傍から発生し、10秒後には半径方向にさらに広がって存在していた。加えて、一価の亜鉛イオンは亜鉛原子と同程度の位置から発生し、準定常状態においては亜鉛原子よりも内側で円環状の発光強度分布を形成した。各化学種の発光強度は、その粒子の温度と粒子数密度によって決まることが知られている。したがって、ヘリウム原子の発光強度の低下は、亜鉛蒸気の混入による粒子数密度の低下と、放射損失の増加による温度低下によって生じたと考えられる。

他方、銅原子については、不規則な発光を繰り返し、再現性のある傾向が確認できなかった。これは溶融池表面での銅の蒸気発生過程に起因したものであると考えられるが詳細は不明であり、今後さらなる計測が必要である。

4 おわりに

本研究では、金属蒸気が多量に発生する真鍮を母材に

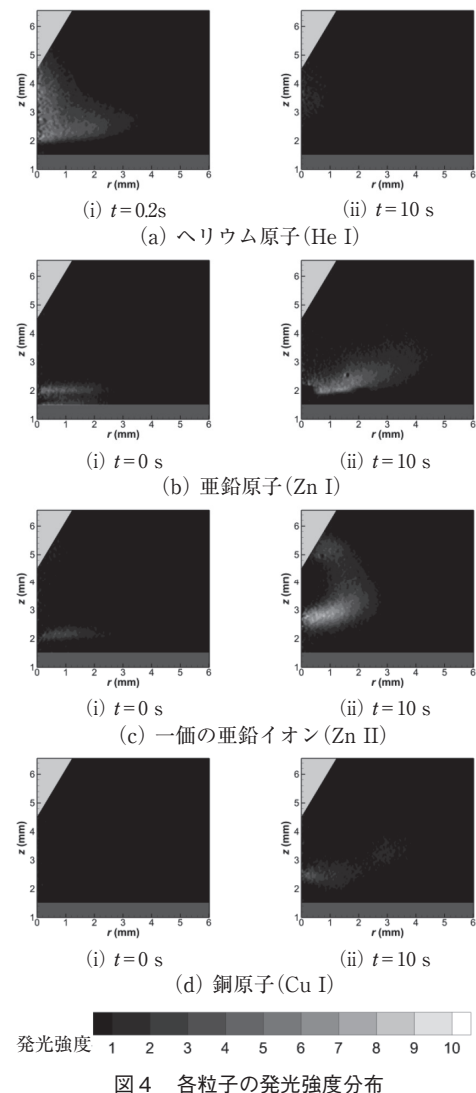


図4 各粒子の発光強度分布

選定したティグ溶接を対象に、実験計測によってその金属蒸気挙動を明らかにすることを目的とした。その結果、亜鉛蒸気由来の原子やイオンの挙動が明らかになった。一方、計測機器の仕様の制約により可視化できていない現象も多く残されている。また、亜鉛蒸気を含んだアークプラズマは非軸対称な熱源となる瞬間が多く、軸対称を仮定した現在の計測手法では、限られた瞬間のアークプラズマの解析しかできず、点弧から始まる過渡的な現象を詳細に解明することは難しい。したがって今後は数値計算や三次元計測を活用しながら、さらなる現象の可視化と理解に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 溶接学会 溶接法研究委員会編, 新溶接アーク現象, (2021)
- 2) K. Tanaka et al, J. Phys. D : Appl. Phys., 52, (2019), 354003
- 3) A. Kramida et al. : NIST Atomic Spectra Database (version 5.11) (最終アクセス日: 2025年9月1日)