



交流 TIG

溶接における陰極点の可視化方法の確立および陰極点の形成位置についての考察

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 安井, 賢太郎, 木之下, 広幸, 湯地, 敏史, 藤丸, 厚志, 房野, 俊夫, 田代, 真一, 田中, 学, Fujimaru, Atsushi, Tashiro, Shinichi, Tanaka, Manabu メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/5583">http://hdl.handle.net/10458/5583</a>

# 交流 TIG 溶接における陰極点の可視化方法の確立および 陰極点の形成位置についての考察

安井 賢太郎<sup>a)</sup>・木之下 広幸<sup>b)</sup>・湯地 敏史<sup>c)</sup>・藤丸 厚志<sup>d)</sup>  
房野 俊夫<sup>e)</sup>・田代 真一<sup>f)</sup>・田中 学<sup>g)</sup>

## Establishment of Observation Method of Cathode Spots in AC TIG Welding and Consideration on the Cathode Spots Location

Kentaro YASUI, Hiroyuki KINOSHITA, Toshifumi YUJI, Atsushi FUJIMARU,  
Toshio BOUNO, Shinichi TASHIRO, Manabu TANAKA

### Abstract

In this study, we have proposed the method that enables cathode spots in AC TIG welding to observe at arbitrary time. In the measurement system, a high speed camera and multi-data acquisition system were used. In response to welding starting signal, the current and voltage during AC TIG welding were measured simultaneously, and then shooting of cathode spots by the high speed camera was begun with arbitrary waiting time after receiving the starting signal of welding. From the observation of cathode spots in AC TIG welding of aluminum alloy, the usefulness of the measurement method was demonstrated.

**Keywords:** AC TIG welding, Cathode spot, Aluminum sheet, Cleaning operation

### 1. はじめに

TIG 溶接は不活性ガス（シールドガス）雰囲気中でタングステン電極と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱によって金属を熔融接合する方法である<sup>1)</sup>。TIG 溶接の特徴には、外観のよいビードが得られること、スパッタおよびヒュームの発生が少ないことがあり<sup>2)</sup>、近年多用されている。

一般にアーク溶接では、溶接金属の酸化や窒化を防ぐことが重要となる<sup>3)~6)</sup>。これらが十分に行われない場合には、割れやブローホールなどの溶接欠陥が生じてしまう。TIG 溶接では、溶接時にアルゴンやヘリウムなどのシールドガスを吹き付けて、溶接部分を大気から遮断することにより熔融金属の酸化を防止する。

また、強固な酸化膜を有するアルミニウム合金やマグネ

シウム合金などの溶接では、融合不良などが生じないようにするために、溶接部分の酸化膜の除去も重要<sup>7)</sup>である。TIG 溶接では、母材の酸化膜を除去するために、陰極点によるクリーニング作用<sup>6) 7)</sup>を利用している。

TIG 溶接におけるアークは、最初に電極棒が母材とスパークし、その熱でシールドガスがイオン化することによって生じる。電流は、シールドガスの電離した電子が電荷を運ぶことによって流れる。すなわち、シールドガスが電離することによって生じたアークは電気を流す導体の役割を果たしている。このことから、シールドガスが溶接の品質に及ぼす影響は大変大きいものと推測される。

直流 TIG 溶接において、タングステン電極が陽極（EP : Electrode Positive）の場合では、多数の陰極点が母材表面近傍に生成されることが知られている<sup>8)</sup>。この陰極点は酸化膜が存在するところに生成され、陰極点が生じている部分は電流密度が高く、その付近にある金属は溶融して酸化膜が除去されると考えられている。さらに、陰極点付近の酸化膜が除去されると、陰極点は酸化膜のある他の部分に移動し、酸化膜を除去した領域（クリーニングした領域）が広がっていくものと推測されている。

クリーニング作用を利用して溶接を行うためには、タングステン電極を陽極にする必要があるが、タングステン電極が過熱損耗してしまうために、継続して高い電流を流すことができない。そのために、強固な酸化膜を有するアル

- a) 工学部教育研究支援技術センター技術職員
- b) 工学教育研究部助教
- c) 教育文化学部准教授
- d) 教育文化学部技術職員
- e) サレジオ工業高等専門学校准教授
- f) 大阪大学接合科学研究所助教
- g) 大阪大学接合科学研究所教授

ミニウム合金などの TIG 溶接では、交流電源を用いることにより、クリーニング作用を利用しながら高い電流で溶接を行う。この交流 TIG 溶接では、タングステン電極が陰極 (EN : Electrode Negative) になる場合は、電極の損耗は少ないが、陰極点による酸化膜の除去作用は働かないことになる。

以上のことから、高品質の溶接部材を得るためには、適切な入力電流を選定すると共に、タングステン電極の極性比 (交流一周期における EP 極性の時間)、シールドガス流量などを精密に制御する必要がある。

丸尾や宮坂らは、交流電源における極性比および周波数の変化が、溶融池や酸化膜除去領域の大きさに及ぼす影響を明らかにしている<sup>2), 8)</sup>。田代らは、陰極点の挙動がクリーニング作用に及ぼす影響を明らかにした。また、交流 TIG 溶接のシミュレーションを行い、溶接機構の一部を明らかにすると共に、溶接部の温度分布や溶け込み深さなどを推定している<sup>9)~11)</sup>。

しかし、交流 TIG 溶接における陰極点の挙動や酸化膜除去過程を実験により観察することが極めて難しいために、酸化膜除去のメカニズムが十分に解明されている、あるいは検証されているとは言えない。また、入力電流と母材の溶け込み深さとの関係やシールドガス流量と酸化膜除去領域の大きさとの関係などについても、不明な点が多いようである。

交流 TIG 溶接における陰極点の挙動や酸化膜の除去過程を実験により観察するには、非常に高い時間分解能を持つビデオカメラを備えた計測システムが必要である。また、タングステン電極が陽極時のみに発生する陰極点を、目的とする時刻において確実に観察できる計測方法の確立が必要である。

本研究では、高速度ビデオカメラとマルチ入力データ収集システムを用いて、電流・電圧の測定とビデオカメラによる撮影の同期を図ると共に、ビデオカメラの“Delay”機能を利用して、電流・電圧の測定開始時刻とビデオカメラの撮影開始時刻に時間差を設けることにより、任意の時刻における陰極点の発生状況を観察できるようにした。その結果、電圧変化に連動して変わる陰極点の発生状況を確実に観察することが可能となった。

本報では、アルミニウム合金の交流 TIG 溶接を行い、上記方法で陰極点を観察できること、および陰極点の撮影結果と溶接部の様相から、陰極点の発生位置について検討した結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 溶接実験の装置および計測システムの概要

図1は交流 TIG 溶接における実験装置ならびに計測システムの概要を示す。実験装置は、ティグトーチ、インバータ式交流電源 (ダイヘン社製 DA300P)、およびシールド

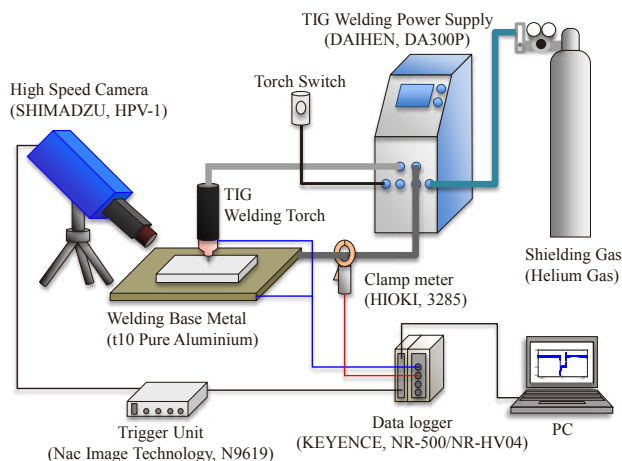


図1. 交流 TIG 溶接における実験装置の概略図

ドガスで構成した。

電極棒には 2.0%ランタナ添加タングステン電極棒 (東邦金属製エルタン, 直径 3.2mm, 長さ 150mm) を用いた。電極棒の先端角は 60° である。溶接母材には縦 50mm, 横 50mm, 厚さ 10mm のアルミニウム合金 A1050 の板材を用いた。アーク長は 5.0 mm とした。

本実験装置では、タングステン電極棒を正極側に、母材 (アルミニウム合金) を負極側に設定した。交流電源の周波数は 70Hz, 電極の極性比 (EP 時間 / (EN 時間 + EP 時間)) は 0.3 とした。この設定では、タングステン電極棒が正極になる場合に、陰極点が発生し母材のクリーニング作用の働きがあることになる。なお、図1に示すように、本研究の溶接実験では溶加材を用いず、単純に1枚のアルミニウム合金板の静止溶接を行った。

インバータ式交流電源の電流値は、150A に設定した。シールドガスにはヘリウムガスを用い、その流量を 25 L/min に設定した。

計測システムは、高速度ビデオカメラ (島津製作所社製 HPV-1, フレームレート 500,000fps), クランプメータ (日置電機株式会社製 HIOKI3285), マルチ入力データ収集システム (KEYENCE 社製 NR-500 および高電圧計測ユニット NR-HV04), およびパーソナルコンピューターで構成した。

溶接時における電流値は、インバータ式交流電源と溶接母材 (アルミニウム合金) 間の配線に、クランプメータを設置することにより測定し、そのクランプメータから得られたアナログデータをマルチ入力データ収集システムにより収集して、パーソナルコンピューターに 1μs ごとに記録した。

溶接時における電圧は、ティグトーチと溶接母材間の電位差を直接マルチ入力データ収集システムにより測定し、電流値と同時に 1μs ごとにパーソナルコンピューターに記録した。

## 2.2 陰極点の観察方法

高速度ビデオカメラによる陰極点の観察は、次のように行った。

- (1) マルチ入力データ収集システムのトリガー設定条件において、トリガーの対象を「電圧」とし、「エッジトリガー」を選択する。また、測定開始条件として、「立ち上がり」を選択し、溶接が開始されて立ち上がりの電圧が 3V を超えた場合に電流および電圧の測定が開始されるように設定する。次に、測定条件において電流および電圧の測定間隔を 1 $\mu$ s に設定し、測定時間を 50ms とする。
- (2) マルチ入力データ収集システムのトリガー出力信号を高速度ビデオカメラに接続する。これにより、高速度ビデオカメラがトリガー信号を受けて、電流、電圧の測定開始時刻と同時に起動するようになる。

さらに、高速度ビデオカメラの撮影条件の設定において、「Delay」を設定することにより、電流、電圧の測定開始時刻とビデオカメラの撮影開始時刻に任意の時間差を設ける。本研究では、0~8 ms の範囲で「Delay」を設定した。この設定により、タングステン電極が EP 時と EN 時のどちらの場合にも陰極点の発生状況を観

察できるようになる。なお、高速度ビデオカメラの撮影間隔は 2 $\mu$ s、撮影時間は 0.2 ms である。

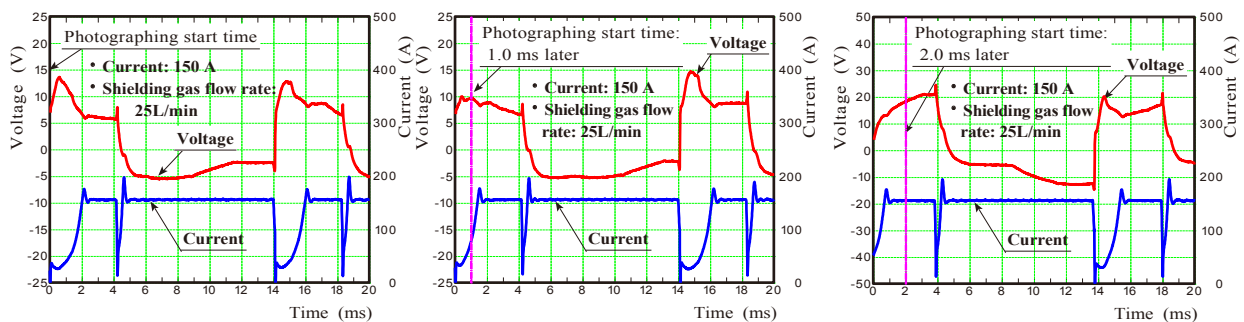
## 3. 実験結果および考察

タングステン電極棒が正極の場合に発生する陰極点を、本研究の計測方法により確実に観察することができるかどうかを検証した。また、陰極点の発生位置が母材のクリーニング領域と密接な関係があるものと考えられることから、高速度ビデオカメラにより撮影された陰極点の位置と母材の溶接部の様相とを比較することにより、陰極点の生成領域について検討した。

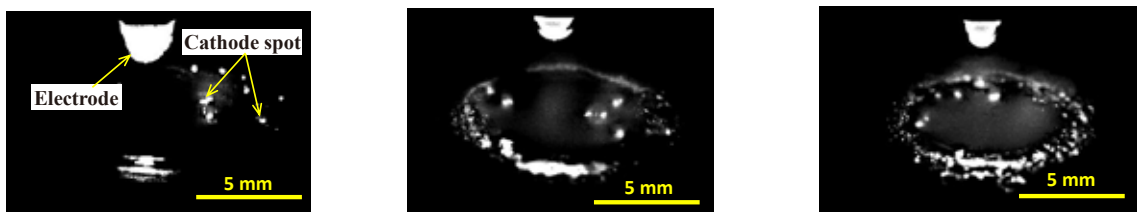
溶接実験は、交流電源の電流値を 150A (周波数 70Hz)、電極の極性比を 0.3、ヘリウムガスの流量を 25L/min に設定して行い、高速度ビデオカメラの「Delay」を 0 ms から 2 ms まで 0.5ms ごとに変えて陰極点の発生状況を観察した。

図 2 は本計測システムにより得られた電圧・電流波形(a)、高速度ビデオカメラにより得られた陰極点の発生状況(b)、および母材の溶接部の様相(c)を示す。

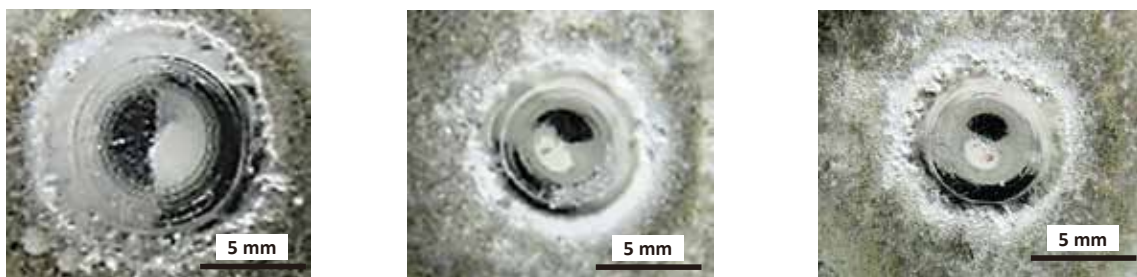
なお、図 2(c)の溶接部の写真は、溶接後のアルミニウム合金板の溶接面を、デジタルカメラを用いて、その面に対



(a) 電流・電圧の測定結果



(b) 陰極点の観察結果 (高速度ビデオカメラによる撮影)



(c) 溶接部の様相 (デジタルカメラによる撮影)

図 2. 電流・電圧の測定結果(a)、陰極点の発生状況(b)、溶接部の様相(c)

して垂直方向から撮影したものである。また、紙面の都合から、“Delay”を0.5 msおよび1.5msに設定した場合の結果は示していない。

まず、図2(a)の電流・電圧波形は、1周期が14msで、電圧がプラスの場合とマイナスの場合の極性比（EP時間 / (EN時間 + EP時間)）が設定通りの0.3になっていることが確認できる。また、電流値も電圧の極性が変わるときに乱れがあるものの、ほぼ設定通りの値（150A）になっていることが確認できる。

図2(b)の高速度ビデオカメラにより得られた各写真は、0.2ms間に2 $\mu$ sごとに撮影された100枚の写真のうち1枚目の写真を示している。撮影開始時におけるタングステン電極の電圧は、電流・電圧波形のグラフに示す“Photographing start time”時の電圧に対応する。

これらの写真から、タングステン電極が正極の場合に発生する陰極点をいずれの場合も撮影することができている。ここで、“Delay”を8msに設定して、タングステン電極が負極になっている場合の高速度ビデオカメラによる撮影結果を図3に示す。本実験は5回行っているが、この写真に示すように、EN時では陰極点を全く見ることができなかつた。以上の結果から、本計測方法の有用性が明らかになったものと考えられる。

次に、陰極点の発生領域について検討する。図2(b)の写真と図2(c)の写真はスケールをそろえている。これらと比較すると、陰極点は母材の溶融池の外縁あるいはその外側の領域に位置することがわかる。この陰極点が存在する位置は母材の酸化膜が除去されつつある位置とほぼ一致している。以上から、陰極点が存在する領域と酸化膜のクリーニング領域とは密接な関係があるものと考えられる。今後、溶接過程における陰極点の挙動を明らかにすることが、酸化膜のクリーニング作用の解明に繋がっていくものと考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、交流TIG溶接において、任意の時刻における陰極点の発生状況を観察可能な計測システムの確立を図ることを目的に、高速度ビデオカメラとマルチ入力データ収集システムを用いて、電流・電圧の測定とビデオカメラによる撮影の同期を図ると共に、ビデオカメラの“Delay”機能を利用して、電流・電圧の測定開始時刻とビデオカメラの撮影開始時刻に時間差を設けた計測方法を立案した。そしてアルミニウム合金の交流TIG溶接実験により、陰極点の発生を確実に観察できることを確認した。

また、陰極点の撮影結果と溶接部の様相から、陰極点は母材の溶融池の外縁あるいはその外側の領域に位置することを示した。

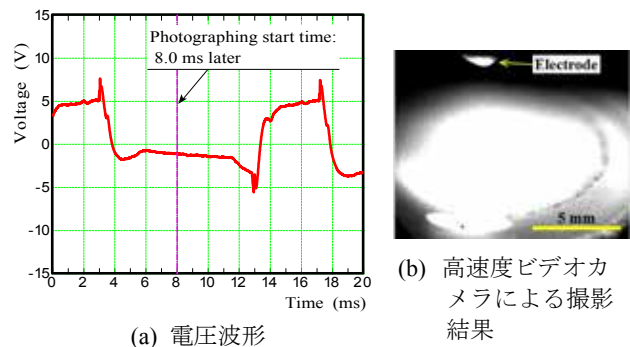


図3 Delayを8msに設定した場合の陰極点の発生状況

本研究は、平成26年度大阪大学接合科学研究所との共同利用研究によって行われたものです。本研究のご支援に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 田中学：アーク及びティグ溶接，溶接学会誌，Vol.77，No.2，pp.50-60，(2008)。
- 2) 丸尾大，平田好則：パルスTIG溶接におけるビード形成現象，溶接学会論文集，Vol.3，No.2，pp.253-260，(1985)。
- 3) 安田克彦：トコトンやさしい溶接の本，日刊工業新聞社，(2009)。
- 4) 岡根功：溶接要論，理工学社，(1985)。
- 5) 溶接学会編：溶接技術の基礎，産報出版，(1986)。
- 6) KOBELCO：溶接だより 技術がいと，用語解説，pp.1-267，(1979-2000)。
- 7) 牛尾誠夫，中田一博，田中学，池内健二，立通秀治：Al合金の交流ティグアーク溶接における陰極点の挙動とクリーニング作用，溶接学会全国大会講演論文集，(53)，pp.56-57，(1993)。
- 8) 宮坂史和，山根泰宏，黄地尚義：アルミニウム合金の交流TIG溶接に対する電流波形の影響，溶接学会論文集，Vol.22，No.4，pp.487-493，(2004)。
- 9) 田代真一，宮田実，沢登寛，田中学：交流ティグ溶接中における陰極点挙動の実験観察，溶接学会全国大会講演論文集，No.86，pp.116-117，(2010)。
- 10) 田代真一，田中学：アークプラズマによる接合プロセス-1. アーク溶接におけるプラズマの特性，J. Plasma Fusion Res. Vol.88，No.5，pp.276-280，(2012)。
- 11) 田代真一，田中学：酸化膜のクリーニング効果を考慮したアルミニウム板の静止交流ティグ溶接の数値シミュレーション，電気学会論文集 B，Vol.132，No.5，pp.422-427，(2012)。