

＝溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み (2)＝

前話では、2005 年－2009 年に掛けてのレビュー&トレンドの「アーク溶接プロセス」欄のなかの「シミュレーション」を主体に各記事より引用させていただきました。とくに TIG 溶接系のシミュレーションの進展がめざましく、2009 年記事（実際には 2008 年）の動向では金属蒸気の影響を考慮したモデル、非軸対称のモデルの開発などに進展し、かつシミュレーションモデルの定量的評価も可能になったと記されています。

引き続き本話では、同じく 2005 年－2009 年における「アーク現象の観察および新技術等における動向」を見ることにします。

1. 「溶接プロセス」2005－2009；アーク溶接プロセス (1.3 アーク現象の観察, 1.4 新技術など)

溶接学会誌引用文献 (レビュー&トレンド) の目次一覧を表 241-01 に示します。

溶接学会誌 2005～2010 年の =特集「溶接・接合をめぐる最近の動向」= 欄より引用  
表 241-01 TIG 溶接関係文献 (レビュー&トレンド) の一覧

整理 NO.	執筆者 (所属) (敬称略) 文献 NO. および記載ページ	文献の主要目次 と TIG 溶接関連目次
1	田中 学 (大阪大学接合科学研究所) Vol. 74 No.5 2005 p 66～68	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセス 1.1 はじめに 1.2 シミュレーション 1.3 現象観察および計測 1.4 A-TIG のメカニズム 1.5 新技術 1.6 おわりに
3	中村 照美 (独立行政法人 物質・材料研究機構) Vol. 76 No.5 2007 p 63～66	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセス 1.1 はじめに 1.2 シミュレーション 1.3 アーク現象の観察 1.4 新技術 1.5 おわりに
5	宮坂 史和 (大阪大学) Vol. 78 No.5 2009 p 78～79	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセス 1.1 はじめに 1.2 シミュレーション 1.3 現象の観察 1.4 新技術 1.5 おわりに

2. 「各年次におけるレビュー&トレンドとその動向」からみた概要

「各年次における TIG 溶接関連レビュー&トレンドとその動向」(2005-2009) における記事を最終ページの表 241-02 に示します。

前話でみたシミュレーションとその進展を受けて、アーク現象の観察 (現象観察&計測)、新技術の開発に関する記事が主体となっています。表 241-02 の具体的な記事を参照しながら、各年次の主な流れを以下に記します。また記事のなかの図 (写真) も参考として添付しました。

前話同様、記事および図表についての詳細は溶学誌の原文を参照して頂きますようお願いします。

2-1) 2005年 ( 1.3 現象観察および計測, 1.4 A-TIG のメカニズム 1.5 新技術 1.6 おわりに)

### 1.3 現象観察および計測

高速度デジタルビデオカメラの出現 → 溶接プロセスの現象を高時間・高空間分解能で観察可能化

#### ティグ溶接の観察領域の拡大 (例)

- ① 溶融池挙動の観察, ② 溶融池内部の対流現象を透視観察, ③ タングステン電極の表面温度測定

### 1.4 A-TIGのメカニズム

A-TIG溶接のメカニズムに関する基本的な部分明確化される。(本文参照方)

### 1.5 新技術

- ① CO<sub>2</sub>ガス添加TIG溶接法の開発 → 入熱密度・電流密度の大幅な上昇  
→ A-TIG法に類似の深溶け込み化確認
- ② 溶融池磁気制御法を応用した高能率立向ティグ溶接法の開発 → 従来法に比べ約4倍の施工能率

2-2) 2007年 ( 1.3 現象観察および計測, 1.4 新技術 1.5 おわりに )

### 1.3 現象観察および計測

アーク現象や溶融池の高度な観察が進展

\* 溶融池観察事例の拡大 → 高速デジタルカメラとX線透視装置による

- ① 溶融池内の湯流れ挙動の観察 ② ビード表面の湯流れ ③ アーク直下の湯流れ挙動の直接観察
- ④ タングステン電極表面の挙動の直接観察 ⑤ アーク開始直後の電流密度の解析

\* 測定の深化 → TIGアークの電極の仕事関数の測定 → レーザ照射による光電効果の利用  
→ シミュレーション技術を支援。

### 1.4 新技術

- ① 二重シールドTIG溶接法の提案 → 内側Heガス/外側に酸化性ガス供給 → A-TIG効果
- ② 「TIG置換MIG溶接技術」確立へ学会挙げて取り組み

### 1.5 おわりに

基礎的な原理・現象に立脚したシミュレーションやモデル化が可能になる

コンピュータやハードウェアの  
進展に支えられ、

各種シミュレーション技術・現象解析技術が  
新プロセス開発のベースとなり、

アーク溶接プロセスの高  
機能化に向けた新しい展  
開が期待される。

- ① レーザ活性化処理TIG溶接 ② 超音波TIG溶接
- ③ 磁気制御TIG溶接 ④ ホットワイヤTIG溶接
- ⑤ 高速揺動MAG溶接

2-3) 2009年 ( 1.3 現象観察および計測, 1.4 A-TIGのメカニズム 1.6 新技術)

1.3 現象の観察

計測機器の進歩に伴い, より精細に溶接現象の観察が可能となる。

→ 二色温度計測によるGMAWの溶滴の温度計測が可能

\* 温度計測の進歩

→ 溶融池の温度計測

→ TIGにおける電極先端の温度分布測定; 電流密度と表面温度の関係調査

実際に目で見えることによって, 新材料や新プロセスの提案へつながるツールへの展開進む

1.4 新技術

① 高効率を目指すハイブリッド型の溶接法の提案 → プラズマ・アークハイブリッド溶接

→ プラズマGMA (MIG) ハイブリッド

② シミュレーションからプラズマアーク現象の解析, プロセスの評価進む。

新技術の開発ツールとして, シミュレーションという選択肢が根付く

1.5 おわりに

シミュレーションと現象観察向上の相乗効果により, 新発想でアーク溶接技術開発が推進される。

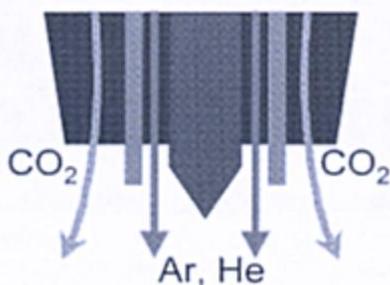


図5 炭酸ガスシールドプラズマアークの概念図<sup>23)</sup>

2005年 図5

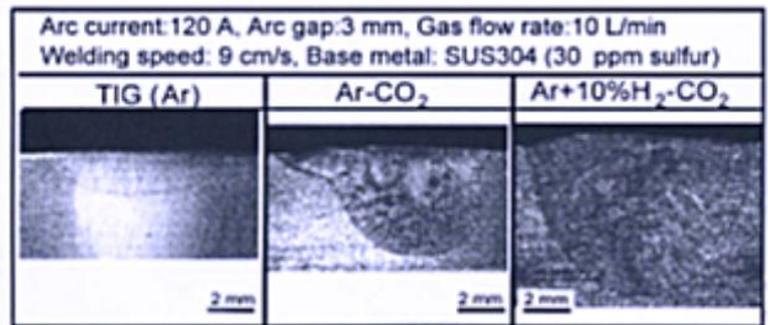


図6 炭酸ガスシールドプラズマアークとティグアークによるステンレス鋼の溶込み比較<sup>23)</sup>

2005年 図6

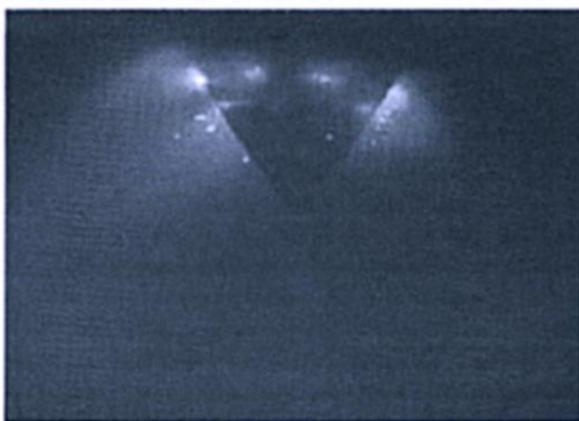


図4 タングステン電極上の陰極点挙動<sup>21)</sup>

2007年 図4

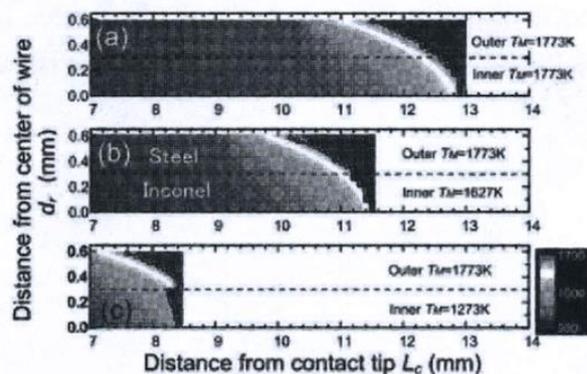


図1 ハイブリッドワイヤの解析結果<sup>2)</sup> (融点温度差の影響)

2009年 図1 本図はMAG/MIG関係のものです。

次話では, 溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み (3) として, 「溶接プロセス」2011-2016 (1.1 はじめに, 1.2 シミュレーション) の記事の概要を紹介します。

表 2 4 1 - 0 2 各年次における T I G 溶接関連レビュー&トレンドとその動向

2005年 (NO.1)	2007年 (NO.3)	2009年 (NO.5)
<p>1.3 現象観察および計測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>高性能な高速度デジタルカラービデオカメラの出現がアーク溶接プロセスで生じる現象を高時間・高空間分解能で観察を可能とした。</u></li> <li>* <u>ティグ溶接の溶融池挙動の観察</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ジルコニアのボール (直径50ミクロン) をトレーサ粒子として活用, 表面流れが可視化。</li> </ul> </li> <li>* <u>ティグ溶接における溶融池内部の対流現象を透視観察</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ マイクロフォーカスX線と高速度デジタルビデオカメラのマッチングによる。</li> </ul> </li> <li>* <u>これらの観察により, 硫黄が不純物微量元素としてSUS鋼に比較的高い濃度 (100~200 ppm程度) で存在する場合に溶込みが深くなることは知られているが, その原因が溶融池内対流方向の逆転に伴う溶融池内熱輸送の変化であることが明らかにされた。</u></li> <li>* <u>紫外線放射測温が可能となった。</u> (赤外線放射測温に比べ溶融池表面の正確な温度計測が実現)</li> <li>* <u>ティグ・タングステン電極の表面温度測定および電極消耗のメカニズムが考察された。</u></li> <li>* <u>ThO<sub>2</sub>やLa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>といった酸化物の添加により電極の仕事関数が低下することが実験的に示された。</u></li> </ul> <p>1.4 A-TIGのメカニズム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>A-TIG溶接は, TiO<sub>2</sub>やCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの酸化物を主体とした粉末状の活性フラックスを母材表面に予め塗布してティグ溶接を行うことにより, SUS鋼の場合で通常ティグ溶接の2~3倍の溶込み深さが得られる溶接プロセス。</u></li> <li>* <u>A-TIG溶接のメカニズムに関する基本的な部分が明らかにされた。</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ それは, 酸化物が溶融池内で解離して酸素の供給源になり, 表面張力温度勾配の逆転とそれに起因する表面張力差を駆動力としたマランゴニ対流方向の逆転による溶融池内の熱輸送現象の変化, と説明有り。</li> </ul> </li> </ul> <p>1.5 新技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>③ <u>ティグアークをベースに安価なCO<sub>2</sub>をシールドガスに用い, CO<sub>2</sub>によるアークの熱的ピンチ効果によって入熱密度を高めた溶接法が開発され, その基礎現象が報告された (図5)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本方法によりティグアークに比べて電流密度及び入熱密度の大幅な上昇が観察されると共に図6にみるようにA-TIGに類似した深溶け込みの効果が得られることが明らかになった</li> </ul> </li> <li>⑤ <u>溶融池磁気制御法を応用した高能率立向ティグ溶接法の開発</u> →従来法に比べ約4倍の施工能率</li> </ul>	<p>1.3 アーク現象の観察</p> <p>アーク現象や溶融池の高度な観察が可能となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>溶融池の観察例;</u> SUS鋼について高速デジタルカメラとX線透視装置を用いてTIG溶接時の溶融池内の湯流れ挙動を観察             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ビード表面の湯流れ, アーク直下の湯流れ挙動が直接観察され, 溶融池の挙動が明らかになった。</li> </ul> </li> <li>* <u>タングステン電極表面の挙動の直接観察 (図4);</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アーク放電開始時の挙動は酸化物や電極に添加された元素によることが直接観察された。</li> <li>・ さらに, アーク開始直後の放射強度と分布の時間的変動を解析し特性スペクトルの半径方向の分布から電流密度の解析が行われた。</li> </ul> </li> <li>* <u>TIGアークの電極の仕事関数の測定;</u> レーザ照射による光電効果を利用し純タングステンへランタナ添加タングステンまでの電極に対しHeとArガスの仕事関数が調査され, シールドガスの影響を比較。これらの物性値がシミュレーションを行ううえで重要な値となる。</li> </ul> <p>1.4 新技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>A-TIG溶接では, 溶接金属中の酸素により溶融池の対流が変化するので, 酸素量の影響が定量的に評価された。</u> → 見方を変えると, 酸素量を適切にコントロールすればA-TIG現象を作り出せると考えられる。</li> <li>* <u>そこで, シールドガスをを用いた二重シールド TIG 溶接法が提案された。</u> → 内側にHeガス, 外側に酸化性ガスにより酸素を供給して深溶け込みのA-TIG効果を作り出すことに成功。</li> <li>* <u>純Ar中でのMIG溶接実現への要望が高まる!</u> 「TIG溶接継手品質をMIG溶接で可能に」への対応;             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複層同軸ワイヤ (ハイブリッドワイヤ)</li> <li>・ デジタルフィルタ適用による安定化制御 など</li> </ul> </li> <li>* <u>「TIG置換MIG溶接技術」確立へ学会挙げて取組み</u></li> </ul> <p>1.5 おわりに</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>シミュレーションと現象観察・計測を中心に纏めた。</u></li> <li>* <u>シミュレーションでは現象, プロセス開発及び物理現象を解析するためのもの, さらには実機適用のためのシミュレーションのように, 基礎から応用分野までカバーできるようになってきた。</u></li> <li>* <u>基礎的な原理・現象に立脚したシミュレーションやモデル化が可能になったことと, コンピュータを初めとするハードウェアの進歩が大きい。</u></li> <li>* <u>観察・計測技術も大きく進展し, 見たいもの計測したいものを確実にとらえることができ必要な物理現象を解析することが可能となった。</u></li> <li>* <u>これらの技術の進化が新プロセス開発のベースとなり, レーザ活性化処理TIG溶接, 超音波TIG溶接, 磁気制御TIG溶接, ホットワイヤTIG溶接, 高速揺動MAG溶接などにつながりアーク溶接プロセスの高機能化に向けた新しい展開が期待される。</u></li> </ul>	<p>1.3 現象の観察</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>計測機器の進歩に伴い, より精細に溶接現象を観察可能になってきた。</u></li> <li>* <u>温度計測</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>2色温度計測によってGMAWの溶滴の温度計測が可能になり, MAG・CO<sub>2</sub>で溶滴の温度分布や電流依存性に関する詳細な計測データ示される。</u></li> <li>・ <u>溶融池の温度計測</u> GMAではGTAと違って熱源直下に最高温度が現れないことが示されている。</li> <li>・ <u>GTAにおいても電極先端の温度分布測定され, 電流密度と表面温度の関係が調査されている。</u></li> </ul> </li> <li>* <u>溶接中のワイヤの先端の挙動も高速度カメラに詳細に計測が可能になり, 金属蒸気が, 電流経路やスパッタの発生現象にどのように影響を与えているかということが観察されている。</u></li> <li>・ <u>これまで想像で議論されていたような現象が, 実際に目に見えることによって, 新たな材料やプロセスを提案するツールへの展開が進む。</u></li> <li>* <u>基礎的な現象に関する観察も進む。</u></li> <li>・ <u>GMAW開先溶接における開先内部での陰極点の挙動と欠陥の発生に関して詳細な調査実施。</u></li> </ul> <p>1.4 新技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>従来の溶接法を複数組み合わせることで, より高効率な溶接を目指したハイブリッド型の溶接法がいくつか提案されている。</u></li> <li>・ <u>プラズマ・アークハイブリッド溶接では, 極性の影響を検討。プラズマ, アーク共に正極性とすることにより幅広で安定なビードが得られる。</u></li> <li>・ <u>プラズマGMA (MIG) ハイブリッド溶接が実用化に向けて検討。対象材料もアルミ合金だけでなく鋼材への展開も図られた。</u></li> <li>* <u>AA-TIG溶接法に関しても現象観察が進み, シールドガス中の酸素量の影響が検討される。</u></li> <li>* <u>シミュレーションからプラズマアーク現象の解析がなされ, その結果からプロセスの評価も行われる様になってきている。</u></li> <li>・ <u>この様に, 新技術の開発のツールとしてシミュレーションという選択肢が根付いてきている。</u></li> <li>* <u>TIG溶接において, コイルを配置することにより重力による溶融池の垂れ落ちを制御するECMP法の提案・開発が進展。(以下略)</u></li> </ul> <p>1.5 おわりに</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>これまでは現場観察した結果をシミュレーション結果から説明する。逆にシミュレーションの結果を現場観察によって確認するといったサイクルに非常に大きな手間と時間を要していた。</u></li> <li>* <u>今後はこのサイクルが短くなり, これまでになかったような発想で新たなアーク溶接技術開発が行われるようになっていくと考えられる。</u></li> </ul>

以上。