

Title	高速電磁オシレートMAG溶接における開先状況のアー クセンシングと適応制御自動溶接への応用
Author(s)	児玉, 克
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/43195">http://hdl.handle.net/11094/43195</a>
DOI	
rights	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

氏 名	児 玉 克 こ だま まさる
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 6 1 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 1 4 年 1 月 2 5 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	高 速 電 磁 オ シ レ ー ト M A G 溶 接 に お け る 開 先 状 況 の ア ー ク セ ン シ ン グ と 適 応 制 御 自 動 溶 接 へ の 応 用
論 文 審 査 委 員	(主 査) 教 授 牛 尾 誠 夫  (副 査) 教 授 豊 田 政 男 教 授 富 田 康 光 教 授 黄 地 尚 義

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、造船、橋梁の狭あい面で曲面を有する立体構造でしかも、開先精度の粗い溶接部を対象に、溶接工程の品質安定化と自動化を図るのが目的であり、技術的諸課題を解決する具体的手段として高速オシレートアーク GMA 溶接法を提案し、そのビード形成現象、独特のアーク特性を明らかにしながら、本法による新しいアークセンシングと適応制御自動溶接について論じた。本論文は全体を次の 7 章で構成した。

第 1 章では、本研究が取り組んだ GMA 溶接の高能率化、自動化に関する背景、高速オシレートアーク法の開発動機、現状の技術課題及び本研究の構成について述べた。

第 2 章では、本論文で提案した本法の高速揺動機構の構成とその原理について述べ、試作した高速オシレートトーチでの実測結果に基づき、本方式のオシレーション性能を明らかにした。

第 3 章では、本法の基本的なビード形成現象について述べた。まず、平板溶接における高周波オシレーションのビード形状に及ぼす影響を試験結果から求め、溶融池の表面对流観察と熱伝導論的な立揚を踏まえながらビード形成現象を明らかにした。次に、水平すみ肉溶接でのビード表面平滑化の効果を試験結果から明らかにし、オシレーション周波数と溶融池振動との関連性を固有振動数の推定を踏まえながら考察した。

第 4 章では、本法によるアークセンサのアーク特性を数値解析から明らかにした。まず、アーク特性解析に導入した特性式について述べ、次に、正弦波オシレーションと本法の高速オシレーションを比較した解析結果に基づき、溶接電流-溶接電圧特性曲線、周波数特性及びリアルタイム溶接電流波形を求め、本法のアーク特性を考察した。これらの考察をもとに、トーチ狙いずれと開先ギャップ幅を同時に検出する新しいアークセンサを提案し、その可能性を示した。

第 5 章では、本法によるアークセンサの開発について述べた。前章で示すトーチ狙いずれと開先ギャップ同時検出アークセンサの実現性を実際の溶接試験結果から裏づけ、これを基に本法によるアークセンサ検出アルゴリズムを提案した。次に、本アークセンサ演算出力に基づいた脚長一定化の適応制御自動溶接システムを構築し、その有効性を溶接試験から検証した。

第 6 章では、高速オシレートアーク法及び開発した適応制御自動溶接システムの実用性検証のため、大型狭あい構造物を対象とした自走式小型自動溶接装置へ適用した例について説明した。

第 7 章では、本研究で得られた結果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

製造の根幹を成す接合技術では、汎用性に優れ、溶接品質に高い信頼性のある MAG 溶接法を中心に、自動化、ロボット化による能率向上の試みが絶え間なく続けられている。しかしながら、造船、橋梁など狭あいな曲面空間を有し、しかも、開先精度の粗い溶接部などの難溶接環境では、依然として熟練技能者の高技能に依存した手溶接、機械溶接が主流の状況である。その多くの理由は、狭あい空間に適用できる高度な溶接センシング技術と品質安定を図る技術がいまだ実用域に達していないことと、狭あい空間でも稼動できる小規模・分散型自動溶接システムの取組みが遅れていることにある。

本論文では、以上のような技術課題を解決するため、独自の軽量小型・高速の揺動機構を有する高速オシレートアーク法を提案し、そのアーク特性を活かした新しいアークセンシングと脚長一定化を図る適応制御技術を確認している。そして、最後には本研究成果を統合した実用自動溶接装置システムの開発に至っている。本論文の成果を要約すると次の通りである。

- (1) トーチ本体に駆動源となる電磁アクチュエータを直接内蔵した独自機構の高速オシレートトーチを開発している。その総重量は 1 kg 以下で構成でき、従来のトーチ揺動方式に比べ大幅な軽量、小型化を可能にする一方、最大 40 Hz に及ぶ高い周波数でのオシレーションを実現している。さらに、オシレーション両端部での停止とその間の高速移動といった本方式独特のオシレーション性能を見出し、その後のアークセンサ開発に必要な基本特性を明らかにしている。
- (2) 本溶接法によるビード形成の基本現象を明らかにしている。本法による平板溶接では、オシレーション周波数に依存して溶け込み深さを抑制でき、幅広のビード形成が可能であることを示し、この現象は主にアーク圧力、入熱量の分散効果および溶融池の対流現象に起因していることを、分散点熱源の考えを取り入れた Rosenthal の熱伝導解析と溶接池表面对流の観察から推定している。さらに、本溶接を適用した水平すみ肉溶接は、著しく平滑化した適正なビードを得ることができ、オーバーラップ、アンダーカット防止に有効であること見出し、ビードの平滑度はオシレーション周波数に依存していることを溶融池との共振現象に関連づけて推察している。
- (3) アークセンサに関する数値解析から本法独特のアーク特性を明らかにしている。まず、本法の溶接電流-電圧特性はアークの自己制御作用がチップ-母材間距離  $L$  の変化に追従できない動的状態とチップ-母材間距離  $L$  が一定となりアークの自己制御作用に支配される静的状態が共存し、前者はアークが開先内を高速移動するとき、後者はオシレーション端部でアークが停止する際に認められることを明らかにしている。このようなアーク特性の溶接電流、電圧の振幅に対する周波数特性も従来の正弦波オシレーションに比べ大きく異なり、溶接電流振幅は周波数の増加により単調減少し、溶接電圧のそれは周波数に依存せずほぼ一定となることも示している。以上のような解析結果の考察を踏まえて、本法によるトーチ狙いずれとギャップ幅を同時に検出できる新しいアークセンサの提案に至っている。つまり、アークがオシレーション端部で停止したときの静的状態の溶接電流を情報とすることで、ギャップの有無に影響されず、トーチ狙いずれ検出が可能になること、そして、オシレーション中心部での動的な溶接電流変化はギャップとの相関が成り立ち、オシレーション両端部の平均溶接電流との相対差からギャップ検出が可能となり得ることを見出している。
- (4) 次に、上記の数値解析から見出したトーチ狙いずれと開先ギャップの同時検出アークセンサの有効性を実際の実測値から裏づけると共に、この新しいアークセンサを適用したトーチ狙い（開先倣い）制御と溶接速度を制御パラメータとする溶着量の適応制御を同時に実現する自動溶接システムの開発に至っている。本自動溶接システムでは、トーチの左右、上下と溶接速度の三方向駆動軸を同時制御することで、開先ギャップが 0 ~ 3 mm と連続に変化するにもかかわらず開先倣いしながら、しかも、ギャップ有無に関係なく脚長一定化（等脚長 6 mm 狙い）を可能にし、溶接品質の安定化を実現できている。
- (5) 最後に、実際の造船における狭あいな曲がりブロックを対象にして、小型、軽量の可搬性に優れた装置システムについて検討を進め、高速オシレートアークとその適応制御自動溶接システムを装備した自走式の小型自動溶接

装置の開発を行っている。実用部材による本装置の適用では、これまで得られた本研究成果の実用性を検証できると共に、狭あい溶接部の自動化に求められるオペレータとの効率的な協業を可能にする小規模、分散型の自動制御システムに、高速オシレートアークが有効であることを示している。

以上のように、本論文は、MAG 溶接における新たな自動化・品質安定化技術として高速オシレートアーク法が有効であることを示すとともに、本手法とその適応制御自動溶接システムを装備した自走式の小型自動溶接装置を開発して実際の造船における実用性検証を行っており、MAG 溶接の自動化、ロボット化、品質安定化のための指針を与え、今後の適用拡大に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。