

極薄板用アーク溶接の制御方法

Method of Controlling Arc Welding on Ultrathin Board

上 田 孝 治*

Koji UEDA

山 上 武*

Takeshi YAMAGAMI

柳 田 章*

Akira YANAGITA

村 上 学*

Manabu MURAKAMI

要 旨

アーク溶接において、アーク長とアーク光照度に正の比例関係が成立することを突きとめた。これを適用し、溶接中にアーク長が常に一定長さを維持する制御技術を開発して、従来のアーク電圧制御では達成できなかったアーク長 1.0mm 以下の長さを一定に維持する制御が可能となった。これにより、板厚 0.5mm 以下の極薄板の溶接を低電流、低電圧で行うことで、安定した均一な溶け込みを実現した。

ABSTRACT

A positive proportional relation between arc length and arc illumination was found to apply in arc welding. By applying this relation, a control technology was developed that maintains arc length at a constant fixed value during welding. This enabled control that is able to maintain a fixed arc length of 1.0 mm or less, which was not possible with conventional arc voltage control. As a result, stable, uniform melting was achieved on ultrathin boards 0.5 mm thick or less by the application of low-current, low-voltage welding.

1. まえがき

従来の車体領域に用いられる鋼板の板厚は 0.6 ～ 1.6mm 程度である。近年、省エネルギー並びに環境対策から車体や排気系部品、燃料電池開発における改質システム部品を中心に極薄板化の要求がますます強まっており、溶接品質向上に対する取組みは、その要求に応えるため不可欠になっている。

板厚 0.5mm 以下の極薄板は、溶け落ちや溶融不良、電極との融着等の問題が発生しやすい。そのため適確な溶接入熱量を安定的に投入することが課題となっている。また、溶接施工の際に母材が入熱で変形しないよう、クランプジグによる強固な固定が必要とされる。しかし、クランプジグで固定できない形状も多い。

2. 従来技術とその問題点

アーク溶接では熱源であるアーク放電を安定的に維持することが重要であり、電極を母材に極めて近い距離に接近させ、アーク長さを常時一定に保つ制御が必要となる。このアーク長が極薄板の溶接品質の安定にとって重要な技術要素となる。しかし、これを正確に制御するのは非常に困難とされてきた。

例えば、アーク長を測定する方法としてレーザセンサやカメラで撮影することが行われている。しかし、レーザセンサは受光部に強いアーク光が入ると誤動作を招く、またカメラで計測する方法は、距離の正確な測定ができない等の問題がある。従来用いられているアーク電圧検知制御方法における、溶接電流 20A、50A、80A の実験結果を、Fig. 1 に示す。アーク長 1.0mm 以下ではアーク電圧が不安定にな

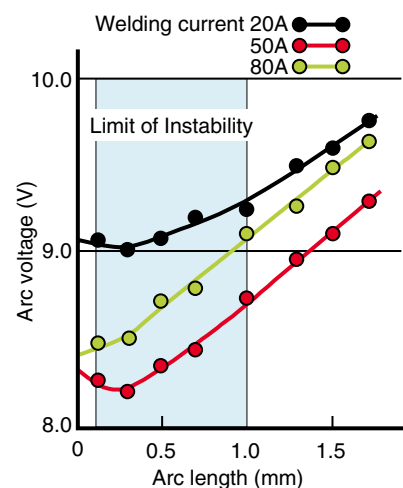


Fig. 1 Relation between arc length and arc voltage

るため、この間はアーク長を一定に維持することができないことがわかる。

3. アーク放電による溶融池の大きさ アーク長の関係

Fig. 2に、電流を一定にしてアーク長を0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25mmに変化させた時のアーク長と溶融池の直径(溶融径)の関係を示す。その時の溶接条件を Table 1 に示す。

板の表と裏の溶融径を計測した結果、アーク長が短いほど溶融径が大きくなり、表と裏の溶融径差も少ない。このことより、アーク長が短い程アーク放電の熱エネルギーは母材を溶融するため効率的に消費されていることがわかる。

Table 1 Welding condition

Base material	SUS316L
Thickness	0.5mm
Material of electrode	Tungsten
Diameter of electrode	1.6mm
Welding current	27A
Welding time	0.25s
Welding method	TIG

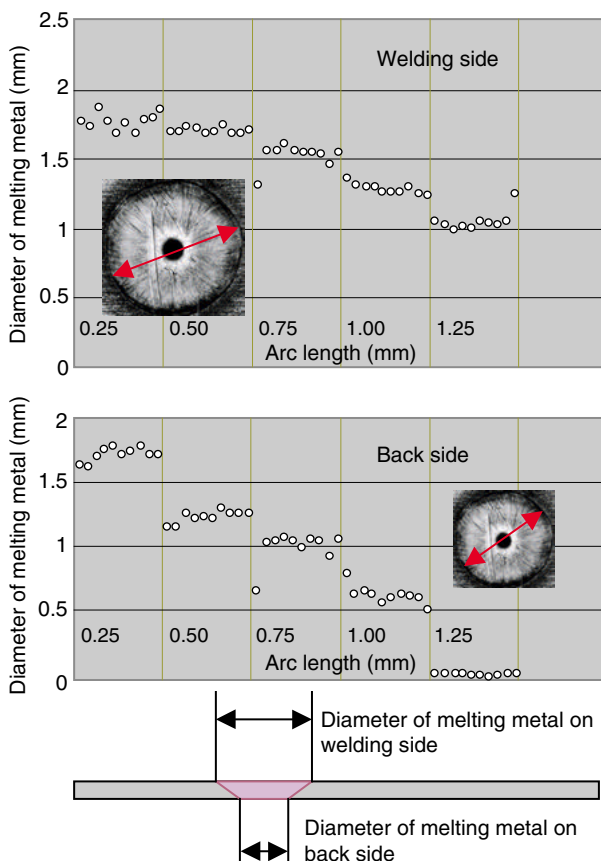


Fig. 2 Relation between arc length and diameter of melting metal

4. アークの光照度とアーク長の相関特性

従来のアーク長制御やアーク電圧制御に代わる溶接制御技術を検討する中で、アーク長を変化させるとアーク放電の光が微妙に変化することに気がついた。そこで Fig. 3 に示す TIG 溶接実験装置を用いて、アーク光照度とアーク長の関係について実験を行った。アーク放電の光の変化を計測するため、溶接電極中心から 150mm 離れたところに照度計を設置し計測した。溶接電流は、手溶接で実績のある最小 20A と最大 81.25A とし、溶け落ちや変形を避け計測するため、厚さ 1.6mm のステンレス鋼板を選定した。その他の条件を Table 2 に示す。

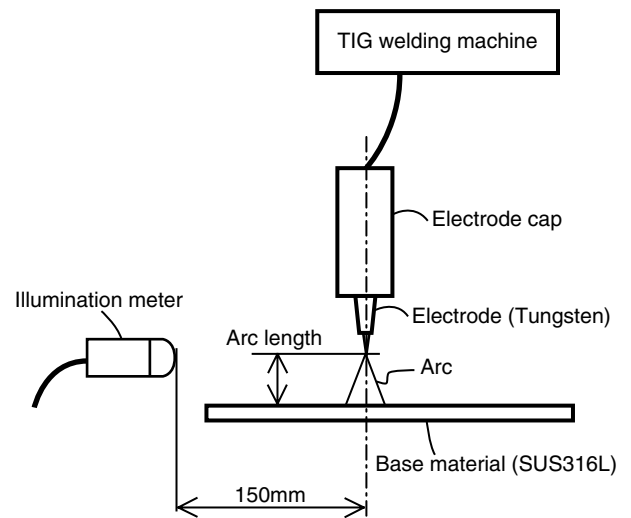


Fig. 3 Experimental apparatus of arc length change and arc optical illuminance

Table 2 Condition of arc length change and arc optical illuminance experiment

Base material	SUS316L
Thickness	1.6mm
Material of electrode	Tungsten
Diameter of electrode	1.6mm
Extension of electrode	16mm
Distance of electrode and illumination meter	150mm
Welding method	TIG

実験の結果を Table 3 に示す。溶接電流が 20A および 81.25A の条件におけるアーク光照度とアーク長の関係を Fig. 4 に示す。アーク光照度とアーク長の関係はこれまで制御が困難とされていたアーク長 1mm 以下においても正比例の相関関係にあることがわかった。この結果から、溶接電流を一定にして照度を監視することでアーク長の制御ができるのではないかと考えた。

Table 3 Result of experiment

Arc length at welding current 20A				
Arc length (mm)	0.17	0.39	0.61	0.98
Illuminance (Lx)	36.7	399	449	564

Arc length at welding current 81.25A					
Arc length (mm)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0
Illuminance (Lx)	2006	2650	4620	8315	12649

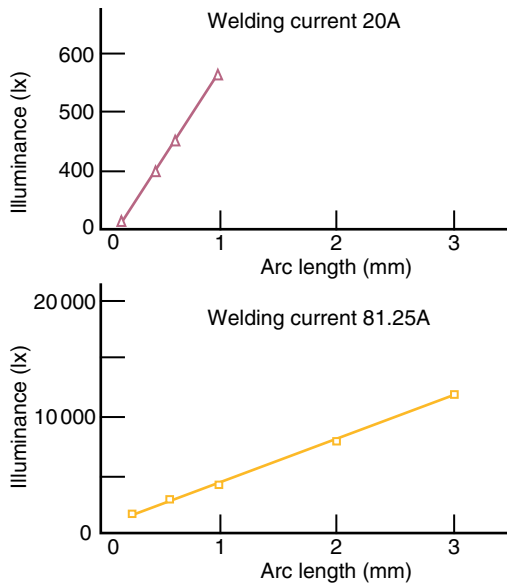


Fig. 4 Relation between arc length and illuminance

5. アーク照度利用による制御法

Fig. 5 に前記のアーク光照度を利用して制御を行う方法を示す。アーク光照度センサからの情報をA/D変換したものを照度電圧信号とした。これをCPUに送り、あらかじめ設定した基準電圧との差異判断を行い、トーチ及び電極を上下させアーク長を一定高さに制御する機構とした。その制御フローを Fig. 6 に示す。ST はプログラムステップを意味する。

- 1) 母材に応じた最適なアーク長を設定し、その時のアーク光照度電圧を基準電圧 V_{st} として CPU にインプットする(ST01)。
- 2) 溶接開始後、照度センサでアーク光照度を計測する(ST02)。
- 3) その電圧信号 V_{ac} をサンプリングする(ST03)。
- 4) V_{ac} を基準電圧 V_{st} と比較する(ST04)。
- 5) $V_{ac} < V_{st}$ ならトーチを上げる(ST05)。
- 6) $V_{ac} > V_{st}$ ならトーチを下げる(ST06)。
- 7) また $V_{ac}=V_{st}$ の場合は、アーク長が適当と判断できるためトーチ高さを維持する(ST07)。

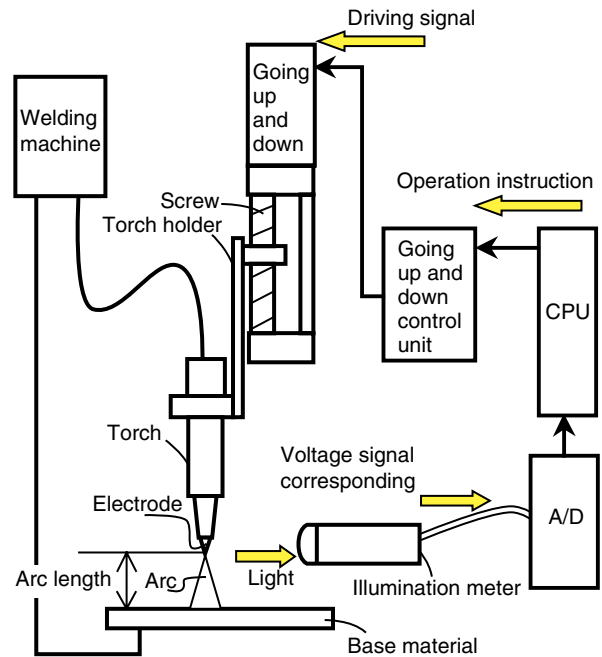


Fig. 5 Arc length controller

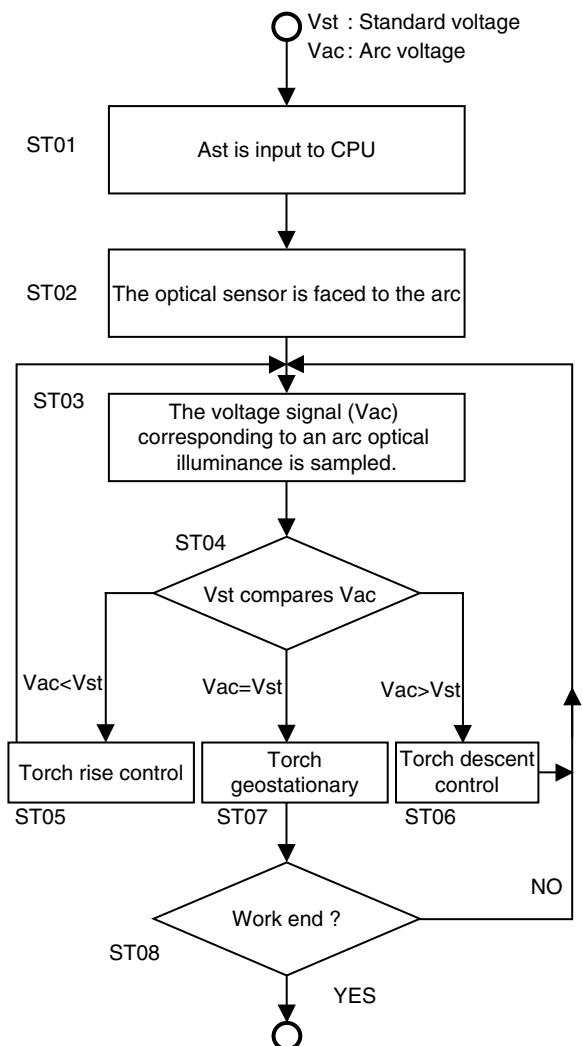
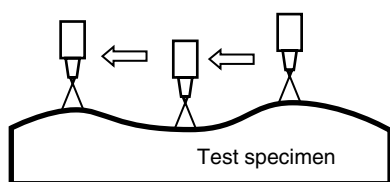
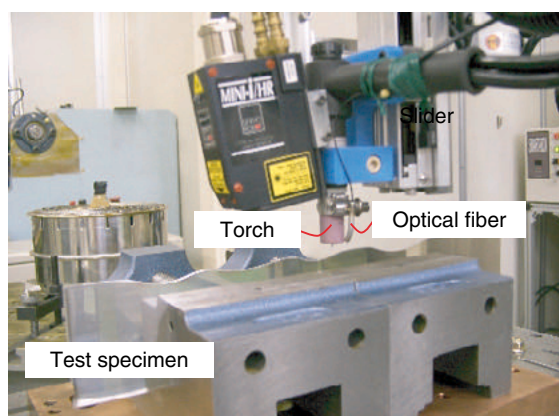


Fig. 6 Arc welding control flow chart

8) 溶接作業の終了信号を受けた場合そのフローを終了する(ST08).

9) 終了信号を受けない場合は(ST03)に戻り制御フローを継続する。

前記フローをアーク溶接ロボットに搭載し、実際に溶接を行った。溶接ワークはアーク長が正しく制御され、トーチの上下制御を確認しやすくするため、溶接先端をアップダウンのある波形状に加工した。アーク長を0.5mmに設定し、ワークに対してトーチを一定速度で直進させてその動きを観察した様子を Fig. 7 に示す。その結果、前記制御が働き波形状の母材に対しアーク長を一定に保つことで、均一な溶融幅の溶接ができたことを Fig. 8 に示す。



Movement of torch

Fig. 7 Arc length control experiment

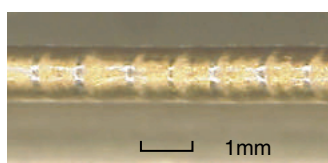


Fig. 8 Form of weld state

次に、0.5mm 板厚の溶接テストを行った様子を Fig. 9 に示す。L 形状にワークを変形させ、クランプジグを用いない状態でトーチを一定の速度で L 字形に走らせた。その結果、入熱の変形影響があるにもかかわらず、複雑な形状の極薄板においても、アーク長を一定に保ち溶接していると推測できる均一で安定した溶融フォーム外観が得られた。それを Fig. 10 に示す。

熱交換器の試作品を溶接している図を Fig. 11 に示す。板



Fig. 9 Experiment without jig

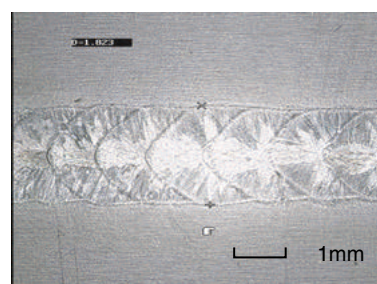
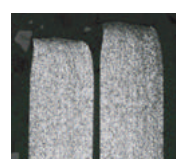


Fig. 10 Form of weld state



Before Welding



After Welding

Fig. 11 Welding and observation of weld

厚0.3mmのステンレス鋼板同士をヘリ継手にし、ループ状の溶接を行った。溶接電流 20A においてアーク長が安定しているため、入熱が均一に溶接部位に与えられ、溶接凝固組織に異常は認められない結果を得た。

6. アーク光照度利用の考察と実験

これまでの実験から、アーク光照度はアーク長と相関があることがわかっている。ここでは、溶接継手形状が異なる場合、アーク光照度に変化が生じるかの考察実験を行った。

Fig. 12 に実験するためのワークを示す。Sec A-A は突き合せにした継手断面形状とし、Sec B-Bは突き合せ部に開先を取った形状とした。Fig. 13は縦軸に照度を電圧に変換した値をとり、横軸に溶接長さをとった。照度電圧は開先を取った所から上昇している。この結果から、アーク光照度は継手形状が突き合せ形状と開先継手のすき間の変化等の検知に応用できると考えられる。

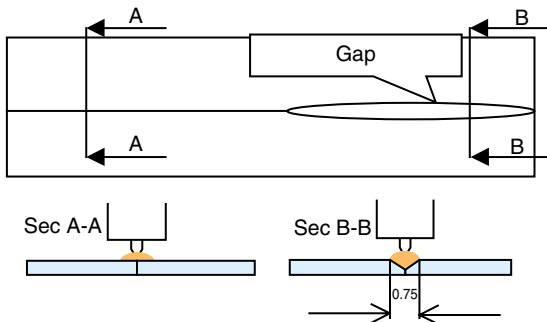


Fig. 12 Experiment sample

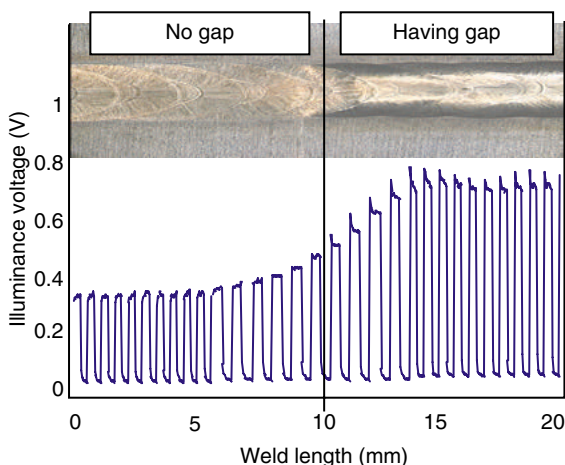


Fig. 13 Relation between gap and arc illuminance

7. まとめ

本アーク長制御により、強固なクランプ無しで極薄板 0.5mm 板厚の自動溶接が可能となった。

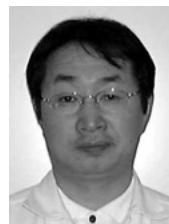
- 1) アーク長が 1 mm 以下において、アーク光照度はアーク長と正の比例関係にあることを突きとめた。
- 2) 上記の関係を利用したアーク長制御技術を開発したことにより、板厚0.5mm以下の極薄板領域で均一な安定した均一な溶け込み品質を実現した。
- 3) アーク光照度の変化は、継手形状の違いやすき間検知に応用できる。

本技術は、燃料電池開発における、改質システムの部品試作に利用されている。

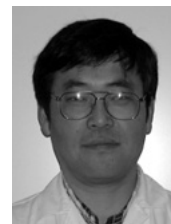
謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ダイヘン(株)の皆様にも多大なご協力を頂きました。本紙面を借りてお礼を申し上げます。

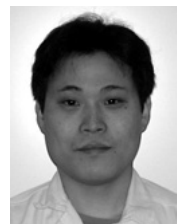
■ 著 者 ■



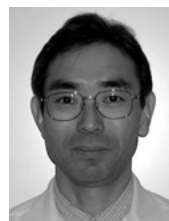
上田 孝治



柳田 章



山上 武



村上 学