

アルミニウム合金溶接部の溶込み形状に及ぼすアルゴンシールドガスへのヘリウムガス添加の効果

—アルミニウム合金の円周隅肉ミグ溶接部の溶込み形状の改善—

Effect of He Gas Addition in Ar Shielding Gas on Weld Penetration of GMA Welds of Aluminum Alloy

—Improvement of Weld Penetration of GMA Welds of Aluminum Alloy Circular Fillet Joint—

荒山 寿治*, 中田 一博**

Toshiharu Arayama* and Kazuhiro Nakata**

1. 緒 言

アルミニウム合金のアーク溶接においては、特に溶接スタート部は母材温度が低いために溶込み不足の欠陥が起りやすい。また、タンク等シール性能が要求される製品においては、溶接始端部と溶接終端部のオーバーラップ部の溶込み不良は致命的な欠陥となる。しかし、特にミグ溶接においては溶接始端部および終端部のオーバーラップ部の溶込み不足の改善は溶接条件（電流、電圧、速度）の変更によっても非常に困難である。一方、アーク溶接におけるシールドガスとして標準的なアルゴンガスにヘリウムガスを混合すると溶込み状態が改善されるという知見がある¹⁾。

本報告はアルミニウム合金板にアルミニウム合金パイプを嵌め込んだ隅肉円周溶接継手に対して

ヘリウムガス混合率を変えることによる溶接始端部および終端部のオーバーラップ部の溶込み形状の改善効果について検討を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料及び継手形状

溶込み不良等の溶接不良が発生しやすいオーバーラップ溶接のモデルとして、アルミニウム合金板材にアルミニウム合金パイプを嵌め込んだ隅肉円周溶接を選定した。

パイプと板の組み合わせは、Table 1 に示すよう

Table 1 溶接実験用供試材及び寸法

		パイプ	板 材	ワイヤー
サンプル 1	材質	A7003S-T5	A7N01	A5356
	寸法	$\phi 40/1.6\text{ t}$ $\times 70\text{ mmH}$	$4\text{ t} \times 125 \times 125$	$\phi 1.2$
サンプル 2	材質	A6063S-T5	A5052P-H34	A5356
	寸法	$\phi 50/2\text{ t}$ $\times 70\text{ mmH}$	$3\text{ t} \times 150 \times 150$	$\phi 1.2$

* ㈱ニッケイ加工 Nikkei MFG. Co. Ltd.

** 大阪大学接合科学研究所 Joining and Welding Research Institute, Osaka University
原稿受付 2006年1月12日

に2種類とした。

2.2 溶接装置

Fig. 1に溶接装置及びワーク取り付け状況を示す。電源は、直流パルスMIG（ダイヘンインバータデジタルパルスDP350）とし溶接ロボット（ダイヘン Almega AX-V16）を使用した。

ポジショナー（回転テーブル）に取り付けた治具にワークをセットし、回転させて円周溶接を



Fig. 1 実験装置及びワーク取り付け状況

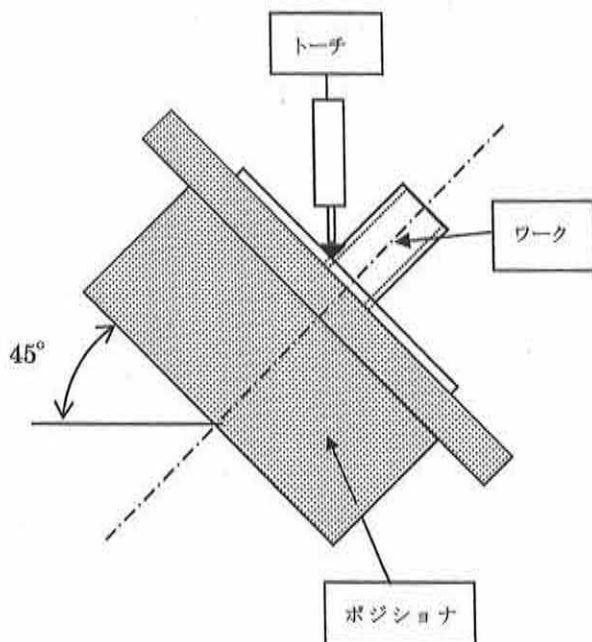


Fig. 2 ポジショナーの傾きとトーチ角

行った。ワーク取り付け治具はワーク受けを約30 mm角で4ヶ所とし、熱の放散が小さくなるように考慮した。また、Fig. 2に示すようにポジショナーの傾きを45°、トーチを垂直とし、トーチ前進角は10°とした。また、板材とパイプとのギャップはほぼ0とした。

溶接用試片は、板材にパイプ材を嵌め込んだ後、裏側より円周4ヶ所を仮付のために点溶接した。Fig. 3に示すように一周溶接した後、スタート位置からエンド位置までオーバーラップ溶接し

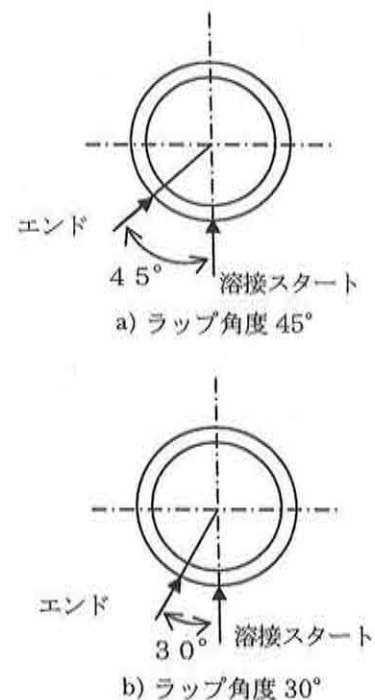


Fig. 3 溶接スタート及びエンド位置

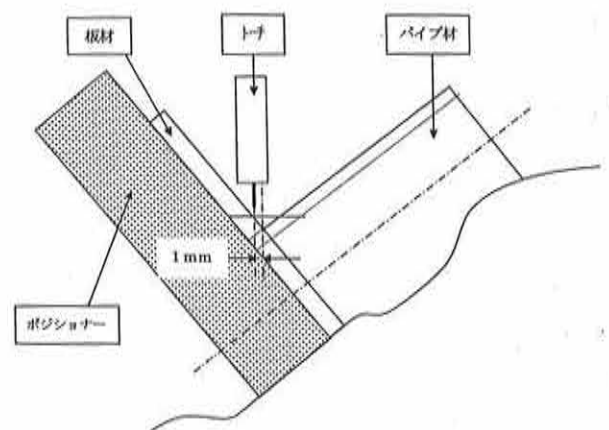


Fig. 4 トーチねらい位置

た。また、Fig. 4 に示すようにトーチのねらい位置はパイプと板材の開先位置から板材側へ1 mm の位置とした

2.3 溶接条件

Table 2 に示す3条件で実験を行った。すなわち、実験(1)ではシールドガスとしてAr100%として溶接速度を変化させて溶込み状況を検討した。実験(2)と実験(3)はシールドガスへのヘリウムガスの混合による溶込み状況を検討した。

アルゴンガスとヘリウムガスの混合比は以下のように変化させた。

- ① Ar100%
- ② Ar70%-He30%
- ③ Ar50%-He50%
- ④ Ar30%-He70%
- ⑤ Ar20%-He80%

3. 実験結果

3.1 アルゴンガス単独における溶込み形状に及ぼす溶接速度の影響

パイプ材：A7003，板材：A7N01 に対してシールドガス：Ar100%で Table 2 実験(1)に示す条件（電流：75 A，電圧：15.7 V，ワイヤー送給：5.2 m/min）により，溶接速度を40 cm/min，60 cm/min，80 cm/min と変えて溶接を行った。Fig. 5 に始端部，終端部及び定常部の溶接外観写真を比較して示す。

Fig. 6 に模式的に示す位置で溶接部断面における溶込み形状を観察した。各条件における溶接断面マクロ写真を Fig. 7 に示す。溶接速度を遅くするほど溶込み深さは増加するが，始端部においてはどの条件でも溶込みは不十分であることがわかる。すなわち，オーバーラップ部では初層部の存在のためにそのルート部の溶込み不足を修正す

Table 2 溶接条件

No.	パイプ材	板 材	ワイヤー供給速度 (m/min)	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	シールドガス
実験 (1)	A7003	A7N01	5.2	75	15.7	40, 60, 80	Ar 100%
実験 (2)	A7003	A7N01	5.2	75	15.7	60	Ar+He
実験 (3)	A6063	A5052	6.4	100	16.0	80	Ar+He

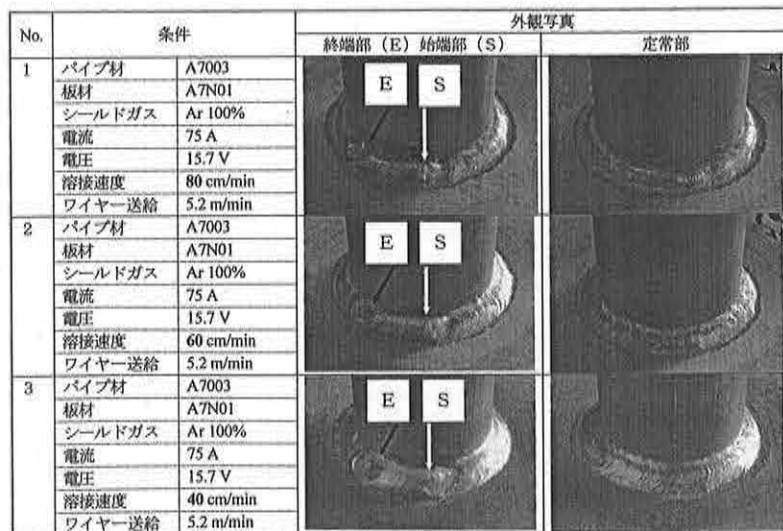


Fig. 5 A7003-A7N01, Ar100%溶接速度変更実験(1) 溶接部外観写真

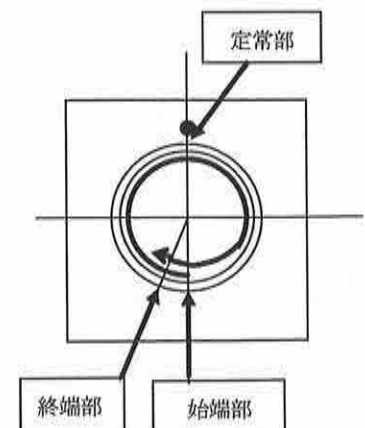


Fig. 6 溶接部の断面観察位置

No.	条件		断面写真		
			始端部	終端部	定常部
1	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 100%			
	電流	75 A			
	電圧	15.7 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
2	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 100%			
	電流	75 A			
	電圧	15.7 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
3	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 100%			
	電流	75 A			
	電圧	15.7 V			
	溶接速度	40 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			

Fig. 7 A7003-A7N01, Ar100% 溶接速度変更実験(1) 溶接部断面観察写真

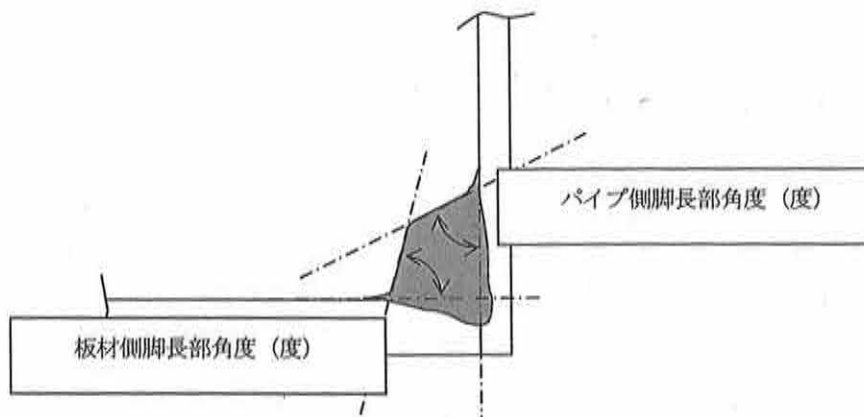


Fig. 8 脚長部角度 (度)

ることは難しい。また定常部の脚長部角度を Fig. 8 に示す方法で測定した。Fig. 9 に溶接速度と脚長部角度の関係を示した。

3.2 溶込み形状に及ぼすシールドガス混合効果：パイプ：A7003，板材：A7N01 の場合

3.1項の溶接ビード状況から標準的な条件として溶接速度を 60 cm/min とし、パイプ材：A7003，板材：A7N01 に対して Table 2 の実験(2)

の条件（電流：75 A，ワイヤ送給：5.2 m/min，溶接速度：60 cm/min）でシールドガスを Ar と He の混合ガスとし，その比率を変えて溶接実験を行った。

Fig. 10 に溶接外観写真を，また Fig. 11 に溶接部断面写真を示す。He ガス混合比の増加とともに Fig. 12 に示すように脚長部角度が小さくなっており，溶接ビード脚長部分の濡れ性が良くな

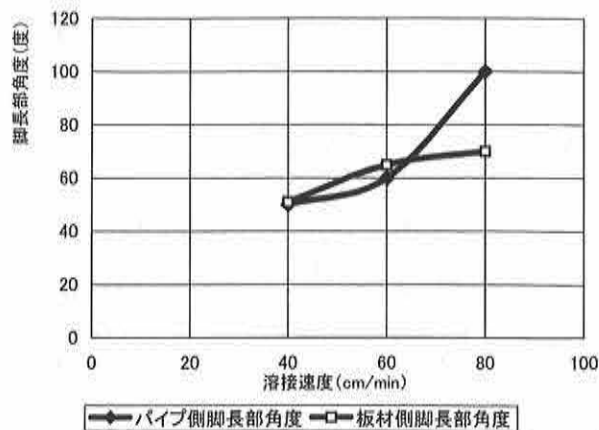


Fig. 9 溶接速度と脚長部角度との関係 (A7003-A7N01, Ar100%, 75A)

り、さらに始端部に2周目溶接がオーバーラップした部分の溶接ビードの余盛高さも小さくなっている。すなわち He 混合率が70~80%以上では溶接始端部の溶込みがパイプ材および板材側ともに良好となっていることがわかる。

3.3 溶込み形状に及ぼすシールドガス混合効果

果：パイプ：A6063，板材：A5052の場合
パイプ材：A6063，板材：A5052について Ar-He の混合比を変えて実験を行った。溶接条件は、Table 2 実験(3)の条件（電流：100 A，溶接速度：80 cm/min，ワイヤー送給：6.4 m/min）とした。

No.	条件		外観写真	
			終端部 (E) 始端部 (S)	定常部
2	パイプ材 A7003	板材 A7N01		
	シールドガス Ar 100%			
	電流 75 A			
	電圧 15.7 V			
	溶接速度 60 cm/min			
	ワイヤー送給 5.2 m/min			
4	パイプ材 A7003	板材 A7N01		
	シールドガス Ar 70% He 30%			
	電流 75 A			
	電圧 17 V			
	溶接速度 60 cm/min			
	ワイヤー送給 5.2 m/min			
5	パイプ材 A7003	板材 A7N01		
	シールドガス Ar 50% He 50%			
	電流 75 A			
	電圧 18 V			
	溶接速度 60 cm/min			
	ワイヤー送給 5.2 m/min			
6	パイプ材 A7003	板材 A7N01		
	シールドガス Ar 30% He 70%			
	電流 75 A			
	電圧 19.7 V			
	溶接速度 60 cm/min			
	ワイヤー送給 5.2 m/min			
7	パイプ材 A7003	板材 A7N01		
	シールドガス Ar 20% He 80%			
	電流 75 A			
	電圧 20.0 V			
	溶接速度 60 cm/min			
	ワイヤー送給 5.2 m/min			

Fig. 10 A7003-A7N01, 60 cm/min, Ar-He 混合比変更実験(2) 溶接部外観写真

No.	条件		断面写真		
			始端部	終端部	定常部
2	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 100%			
	電流	75 A			
	電圧	15.7 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
4	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 70% He 30%			
	電流	75 A			
	電圧	17 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
5	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 50% He 50%			
	電流	75 A			
	電圧	18 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
6	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 30% He 70%			
	電流	75 A			
	電圧	19.7 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			
7	パイプ材	A7003			
	板材	A7N01			
	シールドガス	Ar 20% He 80%			
	電流	75 A			
	電圧	20.0 V			
	溶接速度	60 cm/min			
	ワイヤ送給	5.2 m/min			

Fig. 11 A7003-A7N01, 60 cm/min, Ar-He 混合比変更実験(2) 溶接部断面観察写真

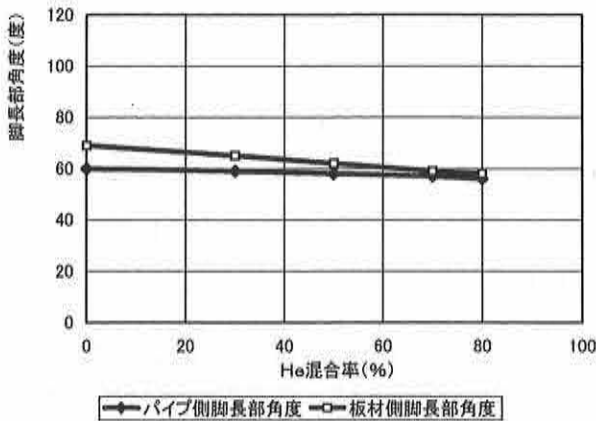


Fig. 12 He 混合率と脚長部角度との関係 (A7003-A7N01, 75A, 60 cm/min)

Fig. 13に溶接外観写真を、また Fig. 14に溶接部断面写真を示す。He ガス混合比の増加とともに溶接ビード脚長部分の濡れ性が良くなり、始端部に2周目溶接がオーバーラップした部分の溶接ビードの余盛高さも小さくなっている。He 混合率が50%からパイプ側の溶込みが良くなり、He80%で良好な溶込み状態となっていることがわかる。

同様に Fig. 15に示すように脚長部角度も小さくなる。

4. 考 察

Ar シールドガスへの He ガスの添加はアーク

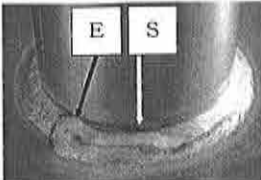
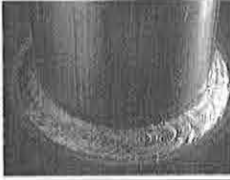
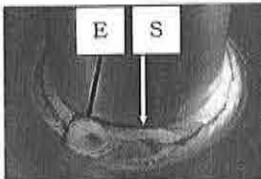
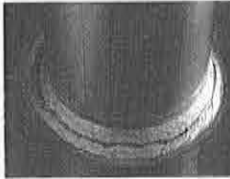
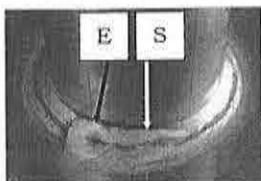

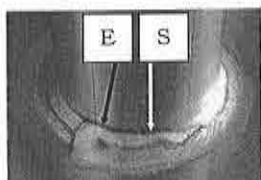

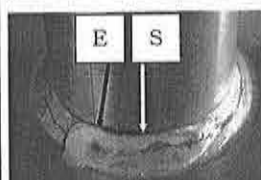

No.	条件		外観写真	
			終端部 (E) 始端部 (S)	定常部
8	パイプ材	A6063		
	板材	A5052		
	シールドガス	Ar 100%		
	電流	100 A		
	電圧	16.0 V		
	溶接速度	80 cm/min		
	ワイヤ送給	6.4 m/min		
9	パイプ材	A6063		
	板材	A5052		
	シールドガス	Ar 70% He 30%		
	電流	100 A		
	電圧	18.2 V		
	溶接速度	80 cm/min		
	ワイヤ送給	6.4 m/min		
10	パイプ材	A6063		
	板材	A5052		
	シールドガス	Ar 50% He 50%		
	電流	100 A		
	電圧	19.5 V		
	溶接速度	80 cm/min		
	ワイヤ送給	6.4 m/min		
11	パイプ材	A6063		
	板材	A5052		
	シールドガス	Ar 30% He 70%		
	電流	95 A		
	電圧	20.8 V		
	溶接速度	80 cm/min		
	ワイヤ送給	6.4 m/min		
12	パイプ材	A6063		
	板材	A5052		
	シールドガス	Ar 20% He 80%		
	電流	92 A		
	電圧	21.4 V		
	溶接速度	80 cm/min		
	ワイヤ送給	6.4 m/min		

Fig. 13 Ar-He 混合比変更実験(3) 溶接部外観写真 (A6063-A5052, 80 cm/min)

電圧の上昇をもたらすことが知られている。Fig. 16及び Fig. 17に示すように本実験でも He 添加量の増加と共にアーク電圧は増加した。すなわち、He 添加量の増加は溶接入熱量の増加をもたらすことになる。一般にミグ溶接では、溶接電流を増加するためにはアーク長制御のために同時にワイヤ送給量も増加する必要がある、これにより溶着量も同時に増加する。このため特に本報告で見られたようにオーバーラップ部では溶接電流の増加は必ずしも溶込み深さを増加させることにはならず、溶込み不足の修正は困難である*)。これに対

*) ティグ溶接ではワイヤ (棒) 供給量と溶接電流は個別制御のために溶接電流調節による溶込み深さの修正は比較的容易である。

して、Ar シールドガスへの He ガス混合添加は、ワイヤ送給量一定 (溶接電流一定) の条件下でアーク電圧のみを増加することにより溶接入熱を増加させることが可能であり、溶込み不足の修正に大きな効果がある。

このような He ガス添加の効果を田代, 田中²⁾はアークプラズマのシミュレーションによって明らかにしている。彼らは、非消耗式電極のティグ溶接において、水冷銅陽極板にタングステン電極を陰極としたアーク放電時のプラズマについてシミュレーションを行い、例えば Fig. 18に示すアーク電圧と Ar シールドガスへの He ガス添加量の関係を得ている。電流やアーク長を一定に保った条件下において、He ガス添加量の増加と共に

No.	条件		断面写真		
			始端部	終端部	定常部
8	パイプ材	A6063			
	板材	A5052			
	シールドガス	Ar 100%			
	電流	100 A			
	電圧	16.0 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	6.4 m/min	脚長部角度: パイプ側 50°、板材側 39°		
9	パイプ材	A6063			
	板材	A5052			
	シールドガス	Ar 70% He 30%			
	電流	100 A			
	電圧	18.2 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	6.4 m/min	脚長部角度: パイプ側 41°、板材側 32°		
10	パイプ材	A6063			
	板材	A5052			
	シールドガス	Ar 50% He 50%			
	電流	100 A			
	電圧	19.5 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	6.4 m/min	脚長部角度: パイプ側 35°、板材側 27°		
11	パイプ材	A6063			
	板材	A5052			
	シールドガス	Ar 30% He 70%			
	電流	95 A			
	電圧	20.8 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	6.4 m/min	脚長部角度: パイプ側 29°、板材側 20°		
12	パイプ材	A6063			
	板材	A5052			
	シールドガス	Ar 20% He 80%			
	電流	92 A			
	電圧	21.4 V			
	溶接速度	80 cm/min			
	ワイヤ送給	6.4 m/min	脚長部角度: パイプ側 40°、板材側 22°		

Fig. 14 A6063-A5052, 80 cm/min, Ar-He 混合比変更実験(3) 溶接部断面観察写真

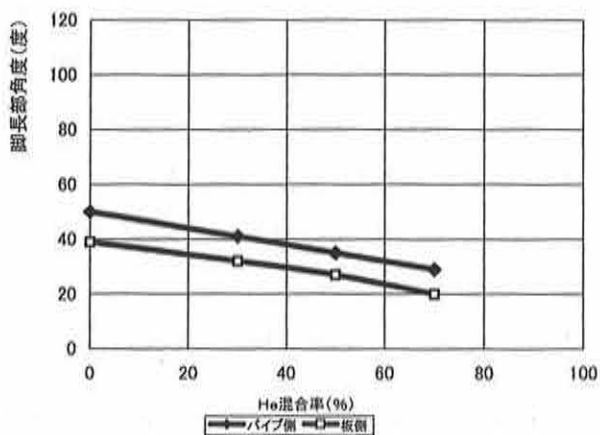


Fig. 15 He 混合比率と脚長部角度との関係(A6063-A5052, 80 cm/min)

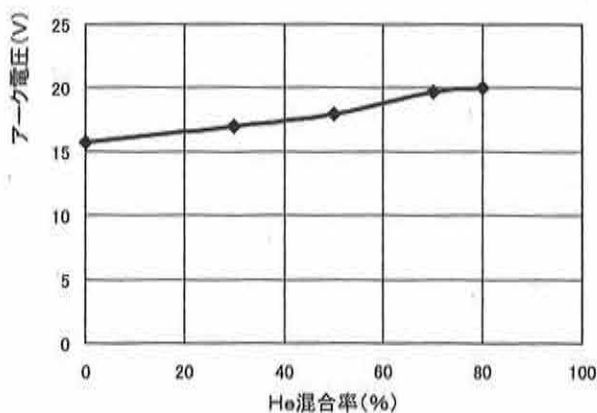


Fig. 16 He 混合率とアーク電圧との関係 (A7003-A7N01, 75A, 60 cm/min)

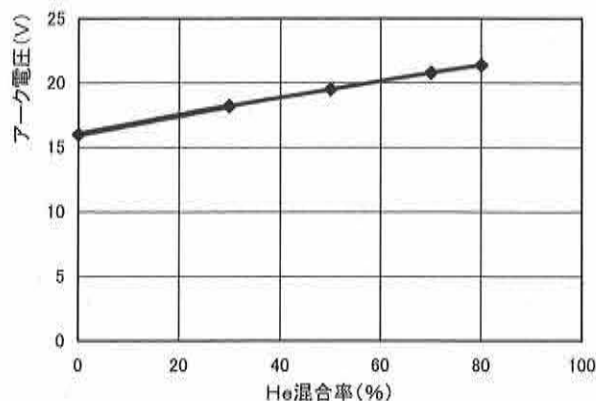


Fig. 17 He 混合率とアーク電圧との関係 (A6063-A5052, 100A, 80 cm/min)

アーク電圧はほぼ直線的に増加し、さらに80%以上では急増することが示されており、本報告で得られた結果とも対応する。この理由は次のように説明されている。Arの電離電圧はHeの60%程度と低いために、電離しやすく、このためArが含まれるアークプラズマでは電気伝導度は高くなる。しかしAr量が減少し、純Heに近づく混合ガス条件では電気伝導度が大幅に低下する。このためにアーク電圧が上昇することになる。さらにこのような条件では電気伝導度の低下に伴い、電流経路は温度が高く、より電気伝導度の高いアークプラズマの中心部に集中するようになり、電流密度が上昇し、アーク電圧の上昇による入熱増加との相乗効果により Fig. 18に示すようにアーク直下の陽極（アノード）表面温度の上昇をもたらす。

結果として実際のアーク溶接においても溶込み深さの増加をもたらすことになると考えられる。

5. まとめ

アルミニウム合金製品のミグ溶接において、オーバーラップ溶接する場合の始端部は、溶込み不足の溶接欠陥が発生しやすく、最適な溶接条件設定が必要となってくる。

溶接始端部は溶接開始時の入熱が少なく、溶接電流、溶接電圧、溶接速度等の溶接条件を変えても溶込み状態の改善は非常に困難であるが、シ-

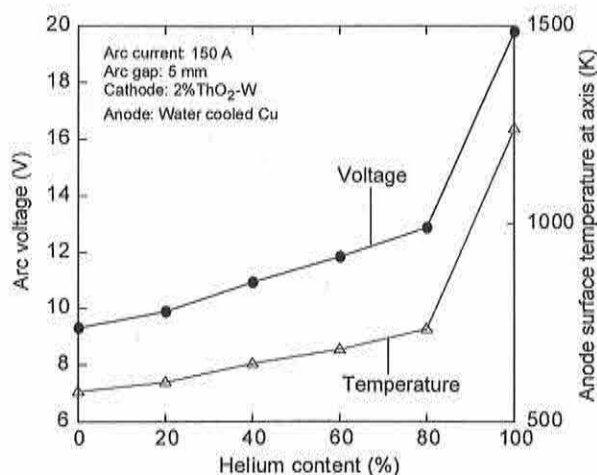


Fig. 18 He 混合率とアーク電圧およびアーク中心軸上での陽極表面温度 (K) との関係²⁾

ルドガスとして標準的なArガスにHeガスを70%~80%混合することで始端部・終端部のオーバーラップ部においても良好な溶込み形状が得られることが確認できた。

謝辞 本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託による「溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発」プロジェクトの一環として行われたものである。また本研究にご協力頂いた株式会社ダイヘン溶接メカトロカンパニー溶接事業部第二技術部の皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) 溶接学会編：溶接・接合便覧第2版(2003)，丸善，P192
- 2) 田代，田中：溶接学会全国大会講演概要，77集(2005-9)，74-75。

執筆者の紹介



荒山寿治



中田一博