

# 第3章 溶接方法

## 《方法》

9 パルスミグ溶接のパルスの種類と特徴は？

**Q-9**

パルスミグ溶接のパルスにはどんな種類がありますか、またそれらの特徴は何ですか？

**A-9**

Table 9 に、パルス電流波形の種類と、それらを適用した場合の特徴を比較して示します。

パルスミグ溶接でのパルス電流波形は、安定なスプレーアークを得るために、1パルス1溶滴移行となる50～

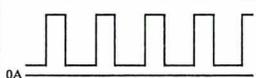
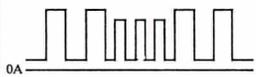
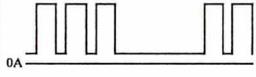
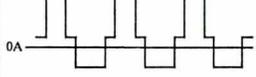
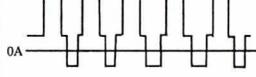
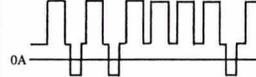
300 Hz の範囲の中周波パルスが主として用いられています。

溶融池を制御する目的で、中周波パルスに低周波パルスを重畳させた複合パルス（ウェーブパルス、サイクルパルス）や、極性効果によって溶接部の溶込みを制御できる交流パルスもあります。

## 参 考 文 献

- 1) 山本：アーク溶接電源，溶接学会誌 Vol. 66, No. 8 (1997) P. 49～63.

Table 9 パルス電流波形の種類と特徴

溶接法	溶接電流波形	特長
通常の パルス溶接		・ 2mm以上の板厚において、 高速で高品質な溶接ができる
ウェーブ パルス溶接		・ 美しいウロコ状のビード外観 が得られる ・ ブローホールなどの内部欠陥 の低減効果がある
サイクル パルス溶接		・ 美しいウロコ状のビード外観 が得られる ・ 1mmまでの薄板の溶接が 容易にできる
交流 パルス溶接		・ 1mmまでの薄板の溶接が 容易にできる ・ ギャップの状態に応じて入熱 を変えることができる
低周波交流 パルス溶接		・ 1mmまでの薄板の溶接が 容易にできる ・ 美しいウロコ状のビード外観 が得られる ・ ギャップの状態に応じて入熱 を変えることができる
		

10 キーホール溶接施工方法の特長は？

**Q-10**

アルミニウム合金のキーホール溶接の施工方法と、その特長を教えてください。

**A-10**

キーホール溶接は、一般的にはプラズマ溶接で可能となる片面突合せ溶接法です。水冷銅チップを通ることで細く絞られたアークが、電流密度を増して推力を高められたプラズマとなり、溶融池

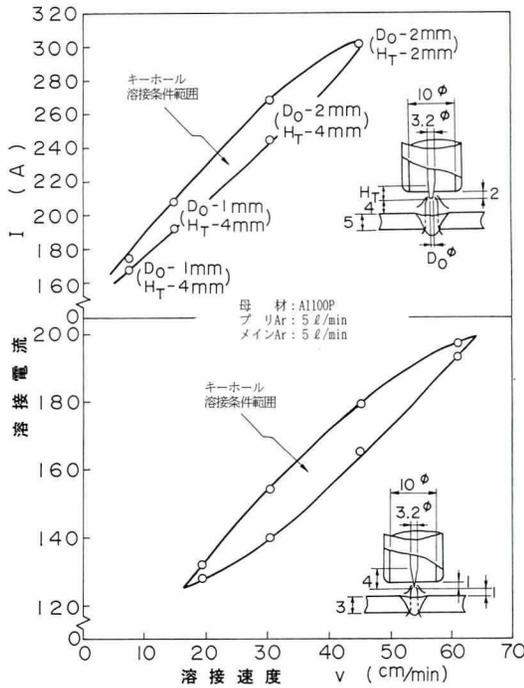


Fig. 13 交流ティグ溶接におけるキーホール溶接条件例

にプラズマ径程度の小孔（キーホール）を維持しながら裏ビードを連続的に形成させ、片面溶接を可能としています。

アルミニウム合金材では、ティグ溶接におけるタングステン電極の先端をアーク力が高められる形状に設定すると、通常のティグ溶接でもキーホール溶接が可能となります。

Fig. 13には、板厚が3 mmと5 mmのアルミニウム材のキーホール溶接条件例を示します。

Fig. 14は、アルミニウム材について、キーホール溶接を行った場合のビード外観と、従来の熱伝導型の溶込み形状となる溶接条件で形成されたビード外観を比較して示したものです。裏ビードの安定性に着目してみますと、アルミニウム材のキーホール溶接が特に有効であることが良く判ります。

アルミニウム材のキーホール溶接が特に有効となる理由としては、以下の点が挙げられます。

- (1) キーホールから抜け出たアークプラズマによって、裏面側母材もクリーニング作用を受け、母材とのなじみ（濡れ性）が良い裏ビードが形成され、ビード外観が優れた高品質な片面溶接が可能となります。

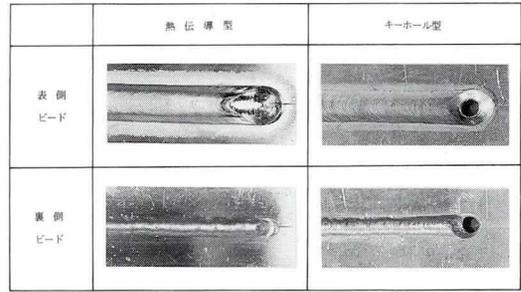


Fig. 14 アルミニウム材の裏ビード形成に及ぼす溶接法の影響

- (2) アークプラズマがキーホールから抜け出ること、裏ビードを形成しようとする溶融金属に余分なアーク力が作用せず、裏ビードの連続性が確保出来ます。
- (3) 板厚が9 mm程度までの突合せ溶接においては、特に開先加工を必要とせず、I型密着の開先形状で片面溶接が可能となります。
- (4) 熱伝導性が良いアルミニウム材の自動溶接では、母材の加熱状態で、溶接の始端部と終端部におけるビード幅が一定となり難しいものです。キーホール溶接の場合は、アークプラズマが板厚を貫通しているため線状熱源となり、板厚方向の熱伝導が少なくなるため、ビード幅が一定な溶接が可能となり易くなります。

## 11 FSW 法の特徴は？

**Q-11**

Friction Stir Welding による溶接部は溶融しているのですか、教えてください。

**A-11**

FSW (Friction Stir Welding) は、Fig. 15の模式図に示されますように、回転する工具を被接合材の中に挿入し、移動させることによって接合が行われます。即ち、回転する工具と被接合材との間で摩擦熱が発生し、工具近傍の被接合材の変形抵抗が低下し、工具の回転に沿う被接合材の内側にメタルフローが生じます。工具が移動するにつれて、工具後方の流動部は熱伝導によって急速に冷却されて、接合部が形成されると考えられております。

この接合方法には、以下のような特徴があります。

- (1) 接合時に、接合部の温度は、被接合材の融点までは達しないため、接合部の組織は柱状晶を呈しません。
- (2) 従って、高温割れの感受性が高い合金材であっても、何ら特別の注意を払うことなく、接合が出来ます。
- (3) 溶加材やシールドガス等が不要であり、ランニングコストは、従来の接合方法よりも安価となります。
- (4) 開先加工や、接合時の前処理は特に必要としませ

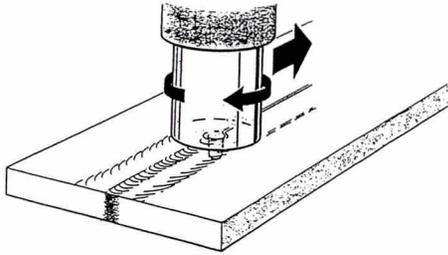


Fig. 15 FSW の模式図

ん。

- (5) アーク溶接のように特別な技能は必要としません。
- (6) 溶接速度は、ミグ溶接法とはほぼ同じくらいです。
- (7) 溶接後の変形量は、ミグ溶接法の数分の一以下です。
- (8) 接合部は、母材厚さとほぼ等しく、余盛の削除等の必要はありません。
- (9) アルミニウム合金であれば、全ての合金材について接合は可能です。また、鋳造材どうしや、鋳造材と展伸材の接合も可能です。
- (10) 一部の金属では、異材どうしの接合（例えばアルミニウムと銅）も可能です。
- (11) 現在のところ、平面及び円筒接合が実用化されていますが、複雑な三次元形状に対しては実用化されていません。

### 参 考 文 献

- 1) 榎本：アルミニウム合金への摩擦攪拌接合の適用，軽金属溶接，Vol. 36 (1998) No. 2, P. 75~79.

### 12 摩擦圧接法を用いた製品例，また特徴は？

**Q-12**

摩擦圧接の研究が随分進んでいるようですが，摩擦圧接法を用いた実際の製品には，どのような物がありますか，また，どのような特徴がありますか，教えてください。

**A-12**

(1) 摩擦圧接法を用いた実際の製品

当初，摩擦圧接法は自動車部品や切削工具などの接合に導入されましたが，その後，瞬間に他の分野に普及し，現在では各種の電気機器，一般機械，農業機械，建設機械，宇宙航空，船舶，圧力容器，原子炉などの部品の接合に应用されています。そして，我が国における摩擦圧接機の稼働基数は約1,000台に達し，世界一の摩擦圧接大国となっています。

Table 10 には，摩擦圧接機の用途別分類を示します<sup>1)~3)</sup>。また Table 11 には，摩擦圧接の応用例を示します<sup>4)~7)</sup>。さらに，摩擦圧接品の例を Fig. 16~Fig. 19

に示します。

このうちアルミニウムの摩擦圧接の代表例としては，トランジションピース (A1100-SUS304)，印刷機械ガイドローラ (A1B4-SS41)，真空・低温用配管部品 (A1050-SUS304)，架線用金具 (A1070BE-DCuR1)，原子炉照射用試料カプセル (A1050B-A1050B)，印刷機乾燥ロール (A5052BDS-A5052BDS)，自転車用シートポスト (A2017T4-A2017T3)，複写機用ローラ (A5056-A5056) などが挙げられますが，何れにしてもアルミニウム同種と言うよりも，アルミニウムと銅，アルミニウムと銅と言った異種継手が主体です。

### (2) 摩擦圧接法の特徴

摩擦圧接法は，回転と軸圧力からなる機械的エネルギーを外部から投入して，接合界面で熱エネルギーを発生させ，界面自らを接合面とする溶接法であるため，他の溶接法には見られない特徴があります。

利点としては，塑性流動を伴う接合過程から生じる金属学的な特徴と，継手設計の自由度と加工性からくる生産加工技術的な特徴が挙げられます。

反面，部材回転の不可欠性から生じる発熱機構上の問題と，それに伴う部材形状の制約，更には摩擦圧接機の非汎用性と価格からくる経済性の問題などがあります。

金属学的な特徴として，圧力の負荷によって界面の過熱域が軟化域の塑性流動によって外部に排出され，しか

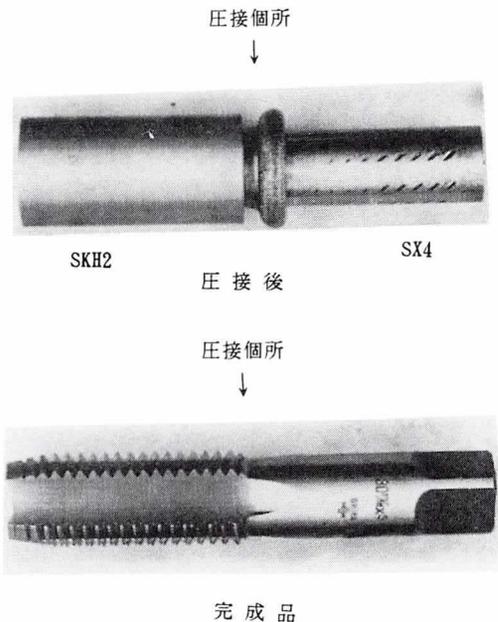


Fig. 16 ハンドタップ

Table 10 摩擦圧接機の用途別分類表

用途区分	品名	台数	小計	用途区分	品名	台数	小計				
試験研究用	ラメラテア試験片作成用 一般用	12	40	油圧空圧部品	ピストンロッド 配管部品 ホース金具 その他の部品	8	44				
		28				21					
自動車部品	エンジンバルブ アクスルシャフト チェンジレバー リアアクスルハウジング ブーリ その他の部品	34	235			機械部品		ミシン部品 電動機部品 ギヤー 特殊金属継手 特殊ボルト コンベアローラ ブレーキ部品 その他の部品	8	107	
		35							14		
		15			22						
		21		11							
		8		16							
122	8										
オートバイ 部品	エンジンクランク その他の部品	9	23	作業用工具	ボックスレンチ ラチェットレンチ ホイールナットレンチ ジャッキ エジェクタピン その他の工具	52	165				
		14				44					
自転車部品	自転車ハブ その他の部品	30	38			切削工具		ドリル・リーマ その他の切削工具	44	50	
		8							6		
建設機械部品	キャタピラローラ タービンホイール ジェットノズル その他の部品	8	39						印刷機械部品		原子力関係部品
		12		航空・宇宙開発関係部品	5						
		5		圧力容器	13						
		14		軽金属野球バット	6						
8	その他一般用部品	85									
工作機械部品			8	受託加工・下請加工用		70					
繊維機械部品	織機ローラ その他の部品	18	22	合 計		1050					
		4									
印刷機械部品	輪転機ローラ 一般印刷機ローラ 段ボール用ローラ その他の部品	8	30								
		10									
		7									
農機具部品			35								
		5									
事務用機器部品			30								

も圧力によって界面が低温域の部材で常に押し付けられますので、界面は密着され、ボイドの形成や酸化、窒化は無く、結晶粒は微細化されます。従って、同種材は容易に摩擦圧接が可能です。界面が微細化されますので、接合部の機械的な強度は、爆発圧接部並に高くなります。但し、切り欠き衝撃強度は、塑性流動層が界面に平行になりますので低下しますが、鋭い切り欠きが無い限り衝撃強度が問題視されることはありません<sup>8),9)</sup>。

異種材については、金属間化合物が急速に生成する組合せ材の場合、硬い金属間化合物が摩擦面となって軟質材側と摩擦し、塑性流動が幾ら多くても金属間化合物を薄くは出来ません。その結果、接合不可能と言うことになります。しかし、金属間化合物の生成速度が遅い組合

せでは、塑性流動によって冷間面が界面に近づき、化合物層の生成を抑え、しかも、化合物層を外部に排出して金属間化合物を約 $1\mu\text{m}$ 以下に薄くすることが出来ます。その結果、接合可能と言うことになります。

生産加工技術的な特徴としては、従来、鍛造、鋳造、削り出しによる一体加工によって成形していた物を、それぞれ所定の加工を施した2つの部材を摩擦圧接することによって、材料の節約、加工工数の低減が出来る点が挙げられます。更に、溶接棒や溶材などを必要とせず、特別な開先加工も必要としません。また、摩擦過程が機械的に進行しますので、自動化が比較的容易であること、入力が回転と圧力ですので、モータの駆動入力だけですみ、しかも、入力密度が高いのでエネルギー効率が

Table 11 摩擦圧接の応用例

業 種	部 品
自動車部品	ステアリングシャフト, エンジンバルブ, クランクシャフト, リアアクセルシャフト, ディスクブレーキプレート, ディーゼルエンジンチャンプ, ターボインペラー, ドライブシャフト
刃 工 具	ドリル, リーマ, エンドミル, ボックスレンチ, たがね, 木工ドリル
繊維機械部品	織機バックローラ, 紡機ロングカラー, ポビンチューブ
自転車部品	コスタハブ, ハブジェル, アルミハブ
農業機械部品	トラクタホイールシャフト, ミッションギア, ベベルギア, シャフト類
建設機械部品	キャタピラガイドローラ, 巻きブッシュ, ピストンロッド, ホース口金, ビンアセンブリ
油圧機械部品	ピストン, ピストンロッド, ポンプシャフト, 弁棒, 大形チーズ
発動機部品	クランクシャフト
電気機器部品	モータシャフト, ソレノイド鉄心, ジェネレーションケース, 開閉器部品
複写機部品	アルミローラ, ヒートローラ, 印刷機ローラ, ステンレスローラ
石油掘削部品	ドリブルパイプ, ケーシングパイプ, サッカロッド
その他部品	原子力関係部品, ロケット関係部品, 船外機部品, 建築土木関係部品

非常に良いと言う特徴があります。

発熱機構上の問題としては、少なくとも一方の部材が回転出来なければならないので、棒材しか接合できません。また、回転の中心部と外周部ですべて速度が異なるので、界面内外に温度差が生じます。この場合、熱伝導が悪い材料では、界面全域が一定温度になり易く、また、冷間状態でも接合出来る組合せの場合には、温度差があっても問題はありません。しかしながら、薄い金属間化合物で接合する場合には、化合物層が一様になり難いので、機械的強度にバラツキが生じることになります。異種継手では機械的強度にバラツキが生じ易い



Fig. 17 六角ボルト

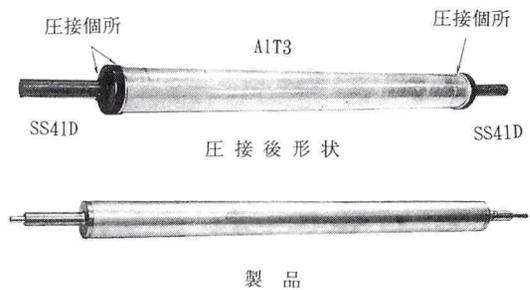


Fig. 18 印刷機用ガイドローラ

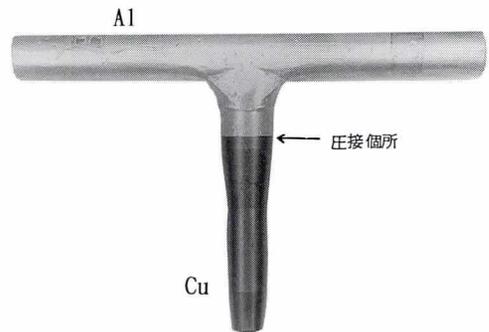


Fig. 19 架線用金具

で、簡便な非破壊試験法の開発が早急に望まれています。更に入力密度が高いと言うことは、同種材であっても、2つの部材の質量が異なると、熱伝導に差異が生じて軟化域が異なり、接合が困難となります。この場合には、熱バランスを保つために接合面を同径にする必要があります。

経済性の問題としては、摩擦圧接機が高価であることです。これは、摩擦に打ち勝つだけの圧接機の剛性が必要なことと、品質管理上、種々の検知器の設置が余儀無くされることにあります。従って、小品種多量生産には適していますが、多品種少量生産には適さず、こうした

場合には、摩擦圧接専門工場を利用する方が得策な場合もあります。また、推力や剛性の関係から、大型の圧接機は小径材の溶接には適用出来ません。少しでも汎用性を持たせるためには、圧接機を一般の旋盤加工機として活用する要望もありますが、今のところは実現していません。

### 参 考 文 献

- 1) Japan Friction Welding Association: Development of Friction Welding in Japan (1982), IIW Document III-711-82.
- 2) 中原征治: 溶接学会誌, Vol. 52 (1983) No. 7 P. 6~12.
- 3) 野田三郎: 溶接技術, 1985年5月号, P. 19~27.
- 4) 荒城義郎, 佐野仁昭: 溶接技術, 1976年5月号, P. 19~22.
- 5) 深谷茂生: 溶接技術, 1976年5月号, P. 23~25.
- 6) 有年雅敏, 沖田耕三: 溶接学会誌, Vol. 62 No. 7 (1993) P. 16~19.
- 7) 摩擦圧接協会編: 摩擦圧接データシート集, (1992) P. 1~151.
- 8) 摩擦圧接協会編: 摩擦圧接, コロナ社 (1982), P. 6~12.
- 9) 篠田 剛: 溶接学会誌, Vol. 60 (1991) No. 2 P. 29~34.

### 《 機 器 》

#### 13 アルミニウムのミグ溶接機とCO<sub>2</sub>/MAG溶接機の違いは?

##### Q-13

アルミニウムのミグ溶接機は、一般的なCO<sub>2</sub>/MAG溶接機とどう違うのですか、

教えてください。

##### A-13

ミグ溶接機やCO<sub>2</sub>/MAG溶接機は、溶接電源、ワイヤ送給装置、溶接トーチ等で構成されています。これ等の構成品について、以下のようにアルミニウム用と鉄鋼用で違いがあります。

##### (1) 溶接電源

溶接電源の電源特性については、アルミニウムのミグ溶接機は定電流特性の溶接電源もありますが、最近では定電圧特性のものが主流であり、電源特性上は、一般のCO<sub>2</sub>/MAG溶接電源と同じです。

しかし、アルミニウムのMIG溶接では、CO<sub>2</sub>/MAG溶接とはアーク現象などの溶接プロセスに大きな違いがあるため、アーク安定化のために電流波形制御方法などが異なっています。例えば、アルミニウムのMIG溶接では、アークの状態がソフトであることが好ましく、これを実現するために、一般のCO<sub>2</sub>/MAG溶接機に較べて電流の立ち上がりや立ち下りの勾配が緩やかな溶接電流波形となるように制御されています。

##### (2) ワイヤ送給装置

CO<sub>2</sub>/MAG溶接機に用いられるワイヤ送給装置は、ワイヤ送給部が2ロールとなっているのが一般的です。

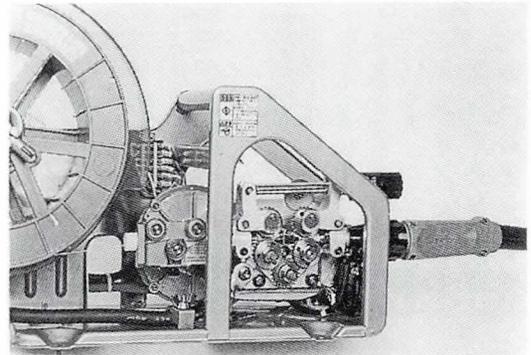


Fig. 20 4ロール方式(4WD)ワイヤ送給装置

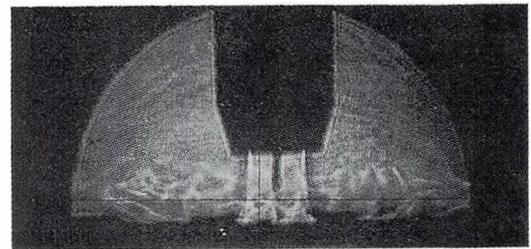


Fig. 21 レーザガスシュリーレンによるシールドガス流の状態

これに対して、アルミニウムの溶接では、ワイヤの送給変動によるアーク長の変動が鉄鋼ワイヤの場合よりも敏感ですので、より安定したワイヤ送給性が要求されます。このため、アルミニウムのミグ溶接機では、Fig. 20に示すように4ロール方式(4WD)が一般的となっています。

##### (3) 溶接トーチ

アルミニウムワイヤは、ワイヤ自身の強度が小さく、僅かな負荷によってコンジットライナ内で変形し、座屈を起こしたりして送給不良が発生し易いなど、非常にデリケートな特徴を持っています。従って、アルミニウムのミグ溶接機における溶接トーチのコンジットライナは、摩擦抵抗の少ないプラスチックライナ(CO<sub>2</sub>/MAG溶接機では鋼製のコイルライナ)が一般的に使用されています。

さらに、アルミニウムのミグ溶接では、シールド不良によるブローホールが発生し易いため、Fig. 21に示すように、大気巻き込みが発生し難い良好なガス流となるような特殊なガスレンズをノズル内に組み込むなどの工夫が施されています。

参 考 文 献

- 1) 高橋：デジタル制御インバータパルスMIG溶接機“デジタルパルスオート350/500”，軽金属溶接，Vol. 36 (1998) No. 7, P. 66～67.

14 ミグ溶接機で定電圧特性機と定電流特性機の使い分けは？

**Q-14**

定格電流500 Aのミグ溶接機は，定電圧特性が一般的と考えられますが，定電流特性の溶接機も市販されています。この使い分けについて教えてください。

**A-14**

Table 12 は，定電圧特性と定電流特性の溶接機の特徴を比較して示したものです。

定電圧特性のミグ溶接機は，電源の自己制御性によってアーク長は元の長さに復帰するような復元作用が期待できます。このため，ショートアーク移行域からスプレーアーク移行域まで，溶接電流によらず適用できます。

一方，定電流特性のミグ溶接機は，電源の自己制御性はありませんが，Fig. 22 に示すように，アルミニウムのアーク固有の自己制御作用が得られるメソスプレーアーク移行領域（スプレーアーク移行域からアーク長を短くして，わずかな微小短絡を伴ったスプレー移行と短絡移行の中間的な移行領域）で，アーク長変動に対する補償が期待できます。このため，定電流特性のMIG溶接機では，メソスプレーアーク移行となる中電流域（ワイヤ径1.6 mm 使用時で250～350 A）と，適用できる範囲

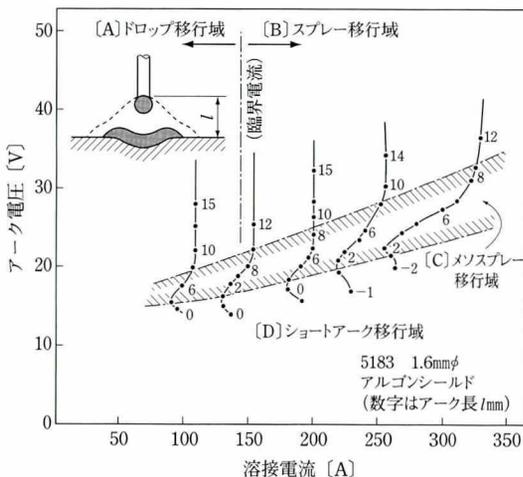


Fig. 22 アルミミグアークの溶融特性と溶滴移行形態

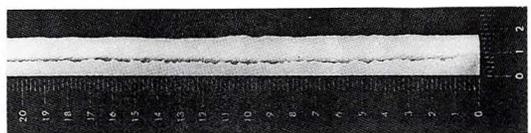
に制限があります。

定電流特性の溶接機では，クリーニング状態の変化で，アーク電圧が変化しても，見かけのアーク長（ワイヤ先端と溶融池表面間の距離）が変化しないため，溶込みの均一性が得られる重要なメリットがあります（Fig. 23 参照）。

以上のことから，定電流特性のミグ溶接機はLNGタンクや車両などの中厚板溶接構造物に適用できます。しかし，定電流特性のミグ溶接機は，1970年代後半に市販されましたが，現在は販売されておりません。最近では，上記の定電流特性電源のメリットを生かしたフェジイ制御の溶接電源（定電圧特性）も開発されています。

Table 12 定電圧特性溶接機と定電流特性溶接機の比較

項目	方法	従来ミグ法	メソデザイン制御法
	電源特性		定電圧特性
ワイヤ送給方式		定速制御	定速制御
適用範囲		スプレーアーク メソスプレーアーク ショートアーク域	メソスプレーアーク域
調整方法	電流調節	ワイヤ送給速度を調整	電源の出力電流を調整
	アーク長（アーク電圧）調整	電源の出力電圧を調整	ワイヤ送給速度を調整
制御方法		個別調整	一元調整



(a) 定電圧特性電源



(b) 定電流特性電源

Fig. 23 アルミミグ溶接ビードに及ぼす電源特性の比較

## 参考文献

- 1) 清原, 岡田, 山本:『メソダイニ制御によるアルミニウムのミグ溶接』、『軽金属溶接』No. 148 (1975) P. 140~159, (軽金属溶接構造協会).
- 2) 原田, 中俣, 上山, 松本:『ファジイ制御を適用したパルスミグ自動溶接機の開発』、『溶接技術』Vol. 40 (1992) No. 8, P. 63~68.

### 15 ファジイ制御ミグ溶接機の効果は?

**Q-15**

ファジイ制御を搭載した溶接機がありますが、アルミニウム合金のミグ溶接では、どのような効果がありますか。

**A-15**

アルミニウム合金のミグ溶接では、Fig. 24に見られるようにクリーニング幅が変化すると、見かけのアーケ長が一定でも、実際のアーケ放電長さが変化して、これに伴いアーケ電圧が変化します。鉄鋼材料のミグ溶接やマグ溶接のように、アーケ長とアーケ電圧の一義的な関係が成立しません。このため、アーケ電圧を検出しフィードバック制御する従来のミグ溶接機では、溶接中にクリーニング幅が広がると、アーケ電圧が高くなり、溶接電源の外部特性(定電圧特性)によって、溶接電流は減少し、ワイヤ溶融量は減少します。これに伴い、遮光面を通して見えるアーケ長は次第に短くなって、ワイヤが母材溶融池に激しく突っ込み、スパッタが発生する現象が生じます。

一般に、アルミニウム合金のミグ溶接では、スプレーアーケを基本として、1秒間に数回程度の短絡が生じるような溶接条件が最適であると言われております。

ファジイ制御を搭載した溶接機では、溶接中の短絡状態を検出して、その回数が毎秒2回~10回の適正範囲に納まるようにファジイ制御を適用して溶接電源の出力電圧を調整し、常に最適なアーケ長になるようにしております。

従って、溶接中に外乱などでガスシールドが乱れ、クリーニング幅が変化しても、アーケの状態はほとんど変化しません。

Fig. 25は、その効果の一例を示したものです。低速溶接時に適正なアーケ電圧に設定しておき、溶接途中で溶接速度を高速に切り換え、そのビード外観をファジイ制御がある場合と、無い場合と比較して示しております。ファジイ制御が無い場合には、高速溶接に切り換わった際、クリーニング幅が狭くなり、アーケ電圧が減少して、溶接電源の外部特性により出力電圧が増加して、アーケ長が長くなります。その結果、溶接ビードは

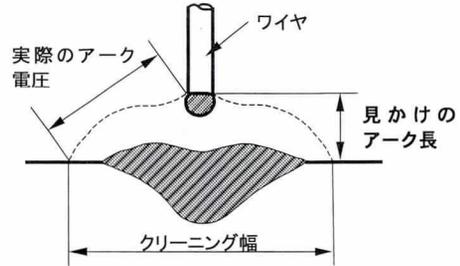


Fig. 24 見かけのアーケ長と実際のアーケ電圧の関係

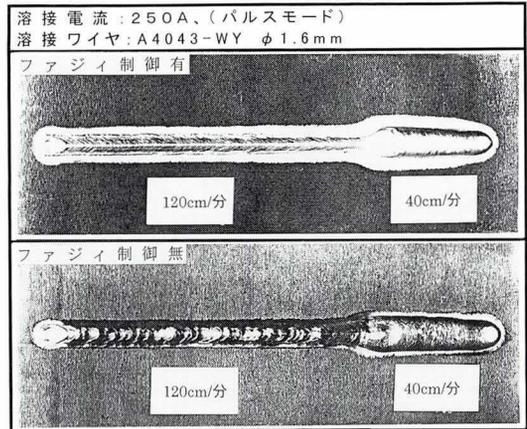


Fig. 25 溶接速度を急変させた場合のファジイ制御効果

黒いスマットで覆われた外観となります。

これに対して、ファジイ制御がある場合には、クリーニング幅の変化に関わらず、短絡回数で制御されているため、溶接速度が急激に変化しても、アーケ長は適正長さに維持され良好なビード外観が得られているのが分かります。

また、溶接中の短絡回数が常に適正範囲内になるように溶接電源が出力電圧を自動調整しますので、溶接作業者はアーケ電圧を調整する必要がなくなり、溶接電流の調整だけで簡単に溶接作業ができるという効果があります。

## 参考文献

- 1) 原田, 中俣, 上山, 松本『ファジイ制御を適用したパルスミグ自動溶接機の開発』、『溶接技術』, Vol. 40 (1992) No. 8, P. 63~68.

16 ミグ溶接用トーチのケーブルの長さはどの程度まで可能か？

**Q-16**

アルミニウムのミグ溶接用トーチのケーブル長さは、最長で3 m程度ですが、それ以上長い物はないのでしょうか？

**A-16**

アルミニウムのワイヤは、鋼ワイヤやステンレス鋼ワイヤと比較して柔らかいため、傷が付き易く、座屈も起こし易いので、ワイヤ送給装置の各部は、鋼用に比べて工夫されています。

送給ロールのV型溝の角度を広くして、ワイヤに傷が付きにくくすると共に、加圧ロールも駆動させるダブルドライブ方式や、4ロールドライブ方式（Fig. 26）等が採用されています。また、座屈を防ぐために、送給抵抗が予め設定した値よりも大きくなると、ワイヤ送給を停止する機能を備えた溶接機もありますが、細径ワイヤや軟質ワイヤでの正確な作動は難しいものです。これ等の理由から、通常アルミニウム用の溶接トーチのケーブル長さは、約3 m程度となっております。

そこで、溶接ワイヤを送り出すプッシュ式の送給装置に加えて、トーチ側にプル式の送給装置を併用することにより、座屈や傷の発生を少なくして、約15 m長さのケーブルを持つトーチが開発されております。更に、ケーブルの間にドライブ機構を備えた中間送給装置を設置することにより、30 m～40 m程度まで、ケーブルを延長することが可能です。Fig. 27 に適用例を示します。

また、細径ワイヤを採用する場合には、Fig. 28 に見られるように、ドライブ機構を備え小型の溶接ワイヤスプールをセットできるスプールオン方式の小型ミグ溶接機が採用されています。

ケーブルが長くなっても、ワイヤが触れる部分に汚れや傷がないかを点検することが必要です。特に、気孔の

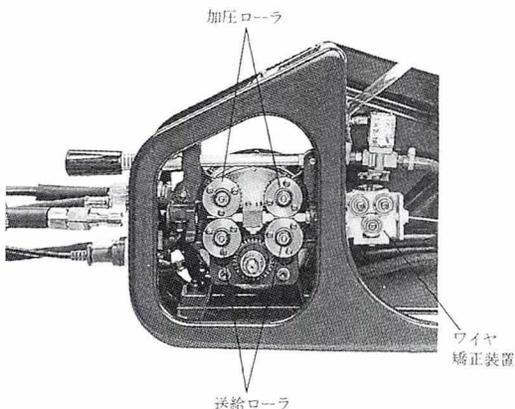
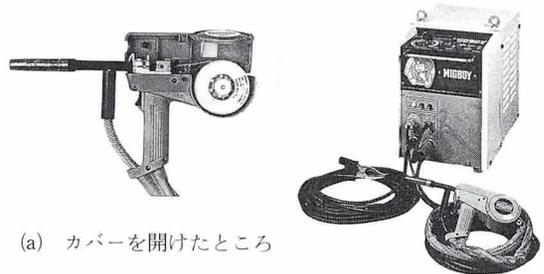


Fig. 26 4 ロール方式のワイヤ送給部の一例



Fig. 27 中間送給装置を設置した溶接トーチ



(a) カバーを開けたところ

(b) 外観と接続状況

Fig. 28 小型ミグ溶接機（スプールオンガン方式）の例

許容限が厳しい構造物に適用する場合には、ワイヤリール部から、トーチ先端までをアルゴンガスで置換する特別な配慮も求められます。

また、延長ケーブルが長い場合には、シールドガスは少し遅れてトーチ先端に届きますので、溶接を開始する際には、シールドガスを十分放流し、安定したシールド効果が得られるようにしてから作業に掛かることも重要です。

なお、長いケーブルの処理として、ぐるぐる巻きにすることがありますが、この処理はワイヤ送給に対しての抵抗を大きくするので、アーク不安定の原因となります。

#### 参考文献

- 1) アルミニウム合金構造物の溶接施工管理：一Ⅱアルミニウム合金の溶接法及び溶接機器—P. 28, 34, 43, (株)軽金属溶接構造協会。
- 2) アルミニウム合金のイナートガスアーク溶接入門講座：P. 47～48, (株)軽金属溶接構造協会。

## 《アーク現象》

### 17 アークのクリーニング作用とは？

**Q-17** アルミニウム合金のアーク溶接時に見られるクリーニング作用とはどのようなものですか、教えてください。

**A-17** アルミニウム合金の表面は、空気中の酸素によってアルミニウムが酸化して生じた酸化膜で覆われており、この酸化膜の融点は、アルミニウムの融点が約660°Cであるのと比較して、はるかに高温で約2,000°C以上です。

このため、通常のアークによる加熱のみでは、この酸化膜が障害となり、母材を熔融して溶接することが困難となります。そこで、アークによるクリーニング作用の助けが必要となります。

Fig. 29 は、アルミニウムのティグ溶接におけるクリーニング作用を示したもので、ビードの周辺部が白くなっているのが、クリーニング作用によって母材の表面の酸化膜が除去された跡を示しております。

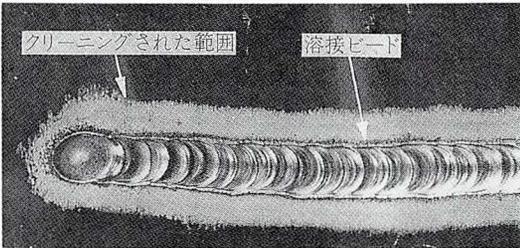


Fig. 29 アルミニウムのティグ溶接におけるクリーニング作用

クリーニング作用は、母材が陰極の場合に限って生じる現象であり、陽極側では発生しません。また、クリーニング作用が起こる範囲は、アルゴンガスで十分にシールドされている範囲であり、少しでも大気が混入した領域では発生しません。

クリーニング作用が起こる理由としては、電極側から放出された陽イオンが、母材表面の陰極降下部で加速され母材に衝突することにより、母材表面の酸化物を破壊分解するためであると考えられております。また母材表面に形成される陰極点は、酸化物がある所を捜し求めて走り回りますので、その結果として母材表面が清掃されるわけです。

このクリーニング作用は、電流を増加すれば、その範囲が広がりますが、自ずと限界があり、シールドガスで覆われている範囲は越えません。また、溶接速度を速く

してもクリーニング幅は余り狭くありませんが、シールドガスの流量を減らすと、清掃される領域が狭くなると報告されております。

## 参考文献

- 1) 軽金属溶接構造協会：アルミニウム合金構造物の溶接施工管理、—II アルミニウム合金の溶接法及び溶接機器—、P. 21.

### 18 パッカリングとは？ その原因と防止策は？

**Q-18** パッカリングとは、どのような現象ですか。その原因と防止方法を教えてください。

**A-18** アルミニウム合金厚板の高エネルギー溶接法の一つとして、太径の溶接ワイヤを用いる大電流ミグ溶接法があります。採用される溶接ワイヤの径は3.2 mm～5.6 mm であり、溶接電流は500 A～1,000 A になります。

このような大電流のミグ溶接において、溶接電流が過大になったり、シールドガスの効果が不十分な場合に、主として溶融池の周縁部から大気を巻き込み、ビード表面にしわ状の厚い酸化膜が生じて、象の肌に似た不良ビードが形成される場合があります。この現象をパッカリング (Puckering) と呼んでいます。

パッカリングビードの発生原因ですが、アルミニウム合金の溶接に特有なアーク現象として、クリーニング作用があります。アルゴンガスの雰囲気の下で、母材をマイナスとしてアークを発生させると、陰極点は溶接ワイヤ直下の溶融池のみに発生するのではなく、溶融池周辺の母材の表面に、無数の陰極点が分散して形成されます。これ等の陰極点は、電子が放出し易い金属酸化物を選んで形成します。

一方、溶接ワイヤ (電極プラス) から放出された陽イオンが母材の表面に衝突して酸化物を破壊しますので、

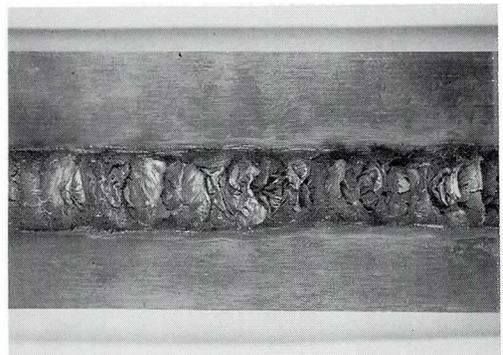


Fig. 30 パッカリングビードの代表例

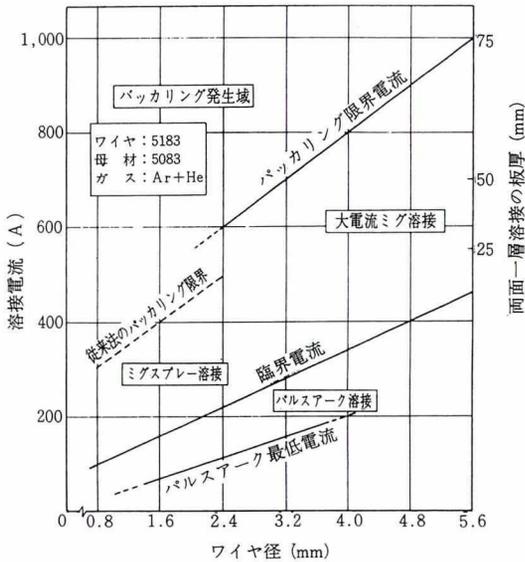


Fig. 31 アルミニウム合金のミグ溶接電流範囲

アークは新たな酸化物を求めて母材の上を走り回ります。このようなクリーニング作用により、溶融池周辺の母材上の酸化皮膜（アルミニウムの融点が約660°Cであるのに対して、酸化膜の融点は約2000°Cもあります）は破壊され、清浄な金属面が露出します。

しかし、溶接電流がある値以上になると、母材上に分散した陰極点だけでは全電流を通すことができなくなり、アークは溶接ワイヤ直下の一点に集中して、溶融池内の金属を吹き上げ、しわ状の酸化皮膜を形成すると考えられています。

Fig. 30には、バックカリングビードの代表例を、Fig. 31には、アルミニウム合金の大電流ミグ溶接電流範囲（バックカリング発生域）を示します。

バックカリングビードの発生防止対策としては、Fig. 31に示した電流範囲を守り、またガスシールドを十分に行うことにより、母材の広い範囲に陰極点が形成し易いようにすること等が挙げられます。また、シールドガスにヘリウムを混合させることも有効と言われています。例えば、2重シールドノズル方式で、アルゴンに50%～75%のヘリウムを混合したシールドガスを採用することにより、最大45mm程度の溶込み深さの良好なビードが得られると報告されています。

### 参考文献

- 1) 軽金属溶接構造協会：アルミニウム合金構造物の溶接施工管理—II アルミニウム合金の溶接法及び溶接機器，p. 38～

41.

- 2) 新版接合技術総覧編集委員会：新版接合技術総覧（1994），p. 132.
- 3) 堺，他：アルミ合金厚板の大電流MIG溶接におけるバックカリング防止に関する研究，溶接学会全国大会講演概要，31集（1982），p. 336.

### 19 交流ティグ溶接時の EN 比率設定の考え方は？

**Q-19** アルミニウム合金を交流ティグ溶接する場合、EN 比率はどのように設定したら良いのですか？

**A-19** EN (Electrode Negative) 比率とは、交流ティグ溶接を行う場合に、タングステン電極がマイナス（母材がプラス）になる時間の比率を言います。

まず基本的な交流ティグアークの挙動を対比しますと、タングステン電極がマイナスの時は、電極先端は冷却されアークは電極下に集中して、溶込みは深くなりますが、母材のクリーニング作用は発生しません。一方、タングステン電極がプラスの時は、電極は過熱され、アークは広がって溶込みは浅くなり、クリーニング領域も広がります。

Fig. 32には、(a)棒マイナスの半サイクルと、(b)棒プラスの半サイクルにおける交流ティグアークの挙動を示します。

EN 比率が高い場合と、低い場合についての溶接アークの形態を Fig. 33 に示します。それぞれの場合の溶接現象がどのようになるかを説明します。

#### (1) EN 比率が高い場合

クリーニング作用の領域（クリーニング幅）は狭くなり、ビード幅とクリーニング幅をほぼ等しくすることが出来て、クリーニング部の白い部分が少なくなり、外観が優れます。但し、母材の表面が汚れている場合には、十分なクリーニング作用がなされないために、不純物を

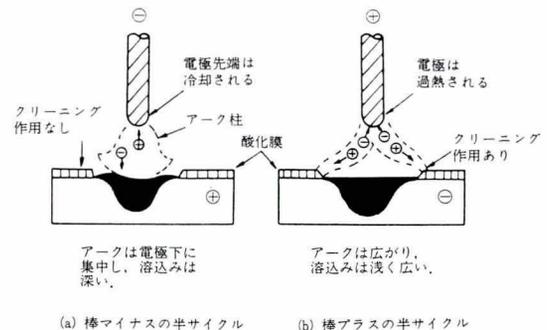


Fig. 32 交流ティグアークの挙動

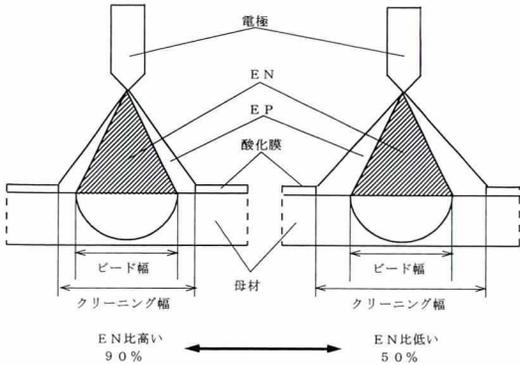


Fig. 33 溶接アークの形態

含んだ溶接ビードとなります。アークの集中度が増し、溶込みが深くなります。なお、タングステン電極の先端が冷却されますので、その消耗が少なくなります。

(2) EN 比率が低い場合

クリーニング作用の領域は広くなり、製品によっては、白い部分の加工が必要となります。十分なクリーニング作用が期待出来ますので、母材の表面が少し汚れていても、比較的純物が少ない溶接ビードが得られます。アークが広がりますので、溶込みが浅くなります。なお、タングステン電極の先端が過熱されますので、電極の消耗が多くなります。

一般的には、製品の外観を重視して、溶接の作業効率を高めるためには、EN 比率を高くします。一方、溶接する母材が汚れていて、クリーニング作用を重視する場合には、EN 比率を低く設定しています。

参考文献

- 1) 『アルミニウム合金構造物の溶接施工管理』—II アルミニウム合金の溶接法及び溶接機器—P. 21 (株)軽金属溶接構造協会.

20 交流パルスミグ溶接における母材の溶け込み制御方法は？

**Q-20**

交流パルスミグ溶接では、EN 比率と呼ばれる溶接電流の極性比率を調整することでアルミニウム母材の溶け込みを制御できるといわれていますが、その理由について教えてください。

**A-20**

Fig. 34 は交流パルスミグ溶接の電流波形を直流パルスと比較して示したものです。直流パルスミグ溶接では、ワイヤプラス極性 (EP) が使われますが、交流パルスミグ溶接では、直流パルス電流波形のベース期間の一部をワイヤマイナス極性 (EN) に切り換えて交流パルス電流波形となります。そ

して、EN 比率は EN 極性の電流面積と一周期の電流総面積との比によって定義され、ワイヤ溶融特性や溶け込み特性等に非常に重要なパラメータとなります。

Fig. 35 は直径 1.2 mm の Al-Mg 合金 (A5356) ワイヤの溶融特性を溶接電流とワイヤ送給速度の関係で示したものです。この図から EN 比率が高いほどワイヤ溶融速度は速くなっているのがわかります。例えば、150 A の平均溶接電流において、EN 比率が 40% のワイヤ溶融速度は EN 比率が 0% (直流パルスミグ溶接に相当) に比べて 60% も増加しています。その結果、同じワイヤ送給速度において、EN 比率が高いほど必要な溶接電流は小さくなります。ところで、EN 比率が高くなるほどワイヤ溶融速度が増加する理由については次のように考えられます。

Fig. 36 は高速度カメラで交流パルスミグ溶接のアーカ現象を電流波形と同期させて撮影したものです。EN 極性の場合、陰極点が酸化物に形成されやすいのでワイヤ表面の酸化物を求めて溶滴上方の未溶融ワイヤの表面まで陰極点が這い上がり、アークルートが溶滴の表面を

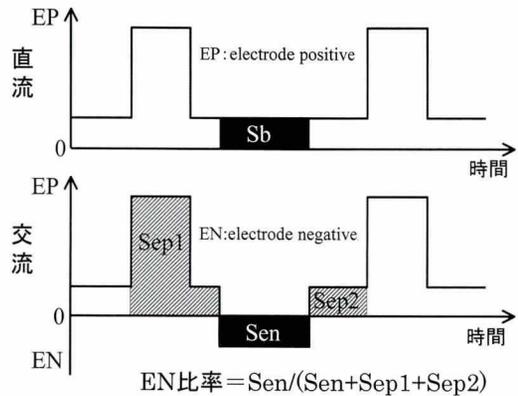


Fig. 34 交流・直流パルスの電流波形の比較

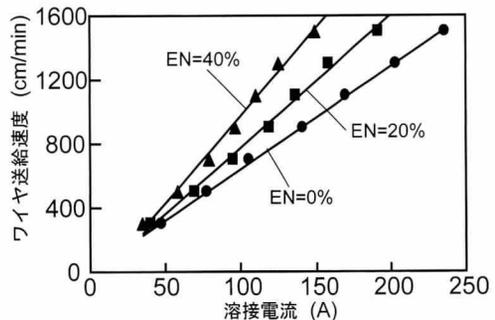


Fig. 35 ワイヤ溶融特性

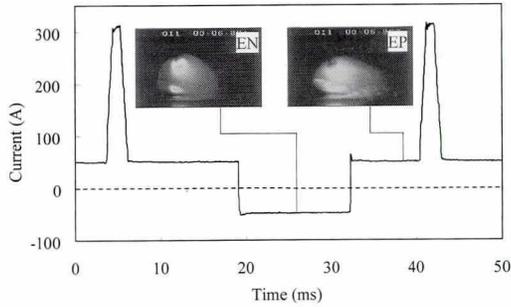


Fig. 36 EN 極性と EP 極性によるアーク現象の比較

均一に覆っています。この結果、ワイヤ先端部全体がアークによって直接加熱され、アーク熱が有効にワイヤの溶融に利用されると考えられます。これに対して、EP 極性の場合、アークルートはワイヤ先端の溶滴下半球部分に集中しており、アークがワイヤを局部的にしか加熱しておらずアーク熱が有効にワイヤの溶融に利用されていないと考えられます。以上のことが、EN 比率の増加によってワイヤ溶融速度が増加する一因と考えられています。

Fig. 37 はワイヤ送給速度 (600 cm/分)、溶接速度 (60 cm/分) ならびに見かけのアーク長 (ワイヤ先端から溶融池表面までの距離、約 3 mm) を一定にして、交流パルス MIG 溶接の EN 比率による溶け込み深さの変

EN: 0%	EN: 10%	EN: 20%	EN: 40%
98A, 17.6V	88A, 16.2V	83A, 15.6V	65A, 15.6V

送給速度：600cm/分、溶接速度：60cm/分  
ワイヤA5356, 1.2mm径、母材A5052 板厚：3mm

Fig. 37 ビード断面形状に及ぼす EN 比率の影響

化を示したものです。EN 比率が 0% (直流パルスミグ溶接に相当) から 40% まで増加していくにつれて、平均溶接電流は 98 A から 65 A まで、平均アーク電圧は 17.6 V から 15.6 V まで減少し、溶け込み深さは急激に浅くなっています。

このように、アルミニウム合金の交流パルスミグ溶接においては、EN 比率調整によって上記の理由からワイヤ溶融速度が変わり、同じワイヤ送給速度であれば必要とする平均溶接電流、電圧も変化するので母材への溶け込み深さに大きく影響を及ぼし、溶け込み制御が可能となります。

#### 参考文献

- 1) 全, 上山: 交流パルス MIG 溶接システムによるアルミニウム合金薄板の溶接品質と生産性の向上 (第 2 報), 軽金属溶接, Vol. 39 (2001) No. 8.