

特殊材料・特殊溶接

マグネシウム合金のミグ溶接

上山 智之・全 紅軍
(株)ダイヘン 溶接メカトロカンパニー

中田 一博
大阪大学接合科学研究所

1 はじめに

マグネシウム合金はアルミニウム合金の3分の2程度の比重であり、実用合金としては最軽量材料である。また、比強度、比剛性が高く軽構造用材料として注目されており、自動車用部品やパソコン、AV機器などへの適用¹⁾が進んでいる。とくに自動車業界では欧米を中心に環境問題を配慮してリサイクル性に優れたマグネシウム合金を積極的に扱う傾向にあり、写真1に示すように車体を構成する部品にまでマグネシウム合金が適用²⁾されている。

ところで、マグネシウム合金の溶接は構造物の大型化や軽量化には欠かせない技術であるが、これまでは鋳造品が主流であったため溶接構造物の実績も少なく、溶接性に関する報告^{3), 4)}についてはアルミニウム合金に比べ

てきわめて少ない。とくに、ミグ溶接に関する情報やデータは溶接用ワイヤそのものが入手困難であった背景もあり、これまでにまとまった報告例はあまり見当たらない。しかし、最近では溶接用マグネシウム合金ワイヤが開発されており、一般にその入手が可能になった。

マグネシウム合金の溶接は、酸化が著しいとはいえアルミニウム合金の溶接施工要領とほぼ同じであり、鉄鋼材料やアルミニウム合金とは異なるいくつかの溶接特性を理解しておればそれほど困難なものでは無いと考えられる。

そこで、本稿ではパルスミグ溶接法を適用した場合におけるマグネシウム合金の溶接特性について紹介する。

2 溶接用ワイヤ

写真2にミグ溶接用マグネシウム合金ワイヤの外観を示す。これらのワイヤは引き抜き加工により製作されている。このためワイヤ表面もスムーズでワイヤ径寸法公差は $\pm 0.01\text{mm}$ 、 -0.04mm 以内を満足しており、市販のアルミニウム合金ワイヤと同様に安定したワイヤ送給安定性を確保できる。

ただし、溶接ワイヤ開梱前はAr封入したプラスチックバックでワイヤ表面の酸化が防止されているが、開梱後は酸化が進行する前に使い切るか、デシケータ等の除湿を確保できる容器への保管が望ましい。



写真1 Mg合金ダイキャスト製後部ドアインナーパネル



写真2 Mg合金溶接用ワイヤ

表1 Mg合金溶接用ワイヤの化学成分

材質	化学成分 (mass%)						
	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Mg
AZ31	2.63	0.96	0.41	0.001	0.005	0.001	Bal.
AZ61	6.03	0.76	0.49	0.003	0.10	0.002	Bal.
AM50	4.80	0.005	0.32	0.004	0.01	0.001	Bal.

表1はそれぞれワイヤ径1.2mmのAZ31, AZ61, AM50の化学成分を示す。

3 溶接機器

マグネシウム合金のミグ溶接は前述したように基本的にはアルミニウム合金の場合とほぼ同じ施工要領で溶接できるので、アルミニウム合金ミグ溶接仕様の溶接機器を適用することである程度の溶接は可能である。

溶接法は、パルスミグ溶接あるいはパルス無しのミグ溶接のいずれもが適用可能である。写真3はマグネシウム合金ミグ溶接プログラムを搭載した新開発のデジタルインバータ制御式パルスミグ溶接機^{5), 6)}を示したものである。

この溶接機ではマグネシウム合金のワイヤサイズに応じたパルスパラメータがプリセットされており、溶接オペレータは溶接電流（あるいはワイヤ送給量）を所望値に設定するだけで安定したアークのミグ溶接が行える。



写真3 新開発のデジタルインバータ制御式パルスミグ溶接機

4 マグネシウム合金のMIG溶接特性

4.1 溶滴移行

溶滴移行の観察は、ハイスピードデジタルビデオカメラを用いて10,000駒/秒の撮影速度にて行った。その際、溶接試験条件は表2に示すとおりであり、以下に溶滴移行観察結果を述べる。

図1はAZ31ワイヤによるパルスミグ溶接時の典型的な溶滴移行観察結果を示したものである。パルスピーク通電開始直後からワイヤ先端に大きな溶滴を形成し始めその上方で電磁ピンチ力によるくびれが認められた。このとき、パルスピーク通電終了後も溶滴上方の溶融ワイヤのくびれ部は細長く伸びており、溶滴が溶融池へ接触するか否かの時点で溶滴離脱する傾向にある。

図2はAZ61ワイヤによる溶滴移行を示したものである。AZ61の場合もAZ31とほぼ同様の溶滴移行形態を示すが、ワイヤ先端の溶滴あるいは移行中の溶滴がしばしば破裂して微小なスパッタを発生させる傾向にある。

図3はAM50の場合の溶滴移行を示したものである。AM50ではパルスピーク通電によって形成したくびれ部から容易に溶滴の離脱が始まり、AZ31およびAZ61に比べてスムーズなパルスに同期した溶滴移行を示した。

図4は溶滴移行観察のためにビード溶接して得られた

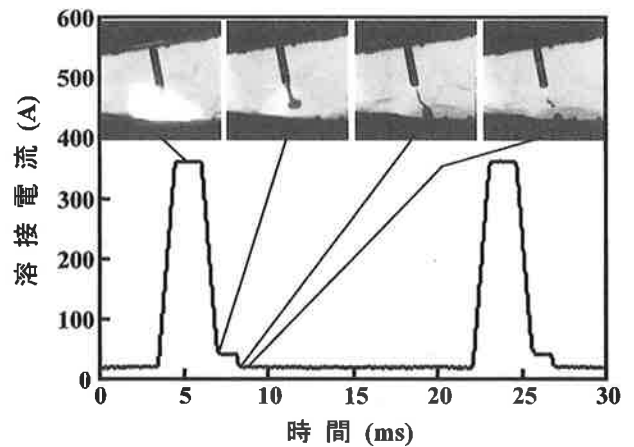


図1 AZ31ワイヤによる溶滴移行

表2 溶接条件およびパルス条件

ワイヤ	ワイヤ送給速度 (cm/min)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	Ar ガス流量 (L/min)	パルス電流 (A)	パルス幅 (ms)	ベース電流 (A)
AZ31	830	68	21.0	38	20	360	1.5	20
AZ61		70	20.6					
AM50		68	21.2					

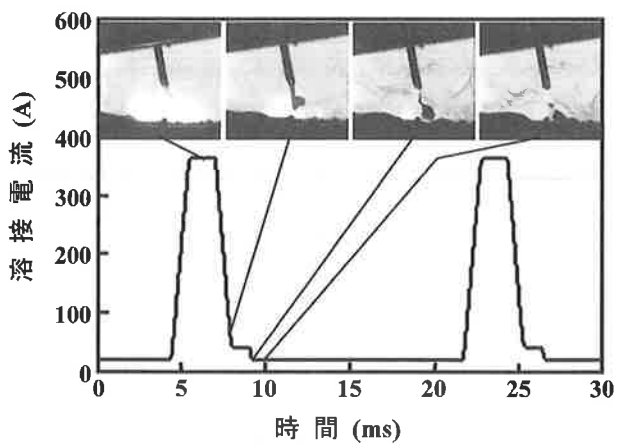


図2 AZ61ワイヤによる溶滴移行

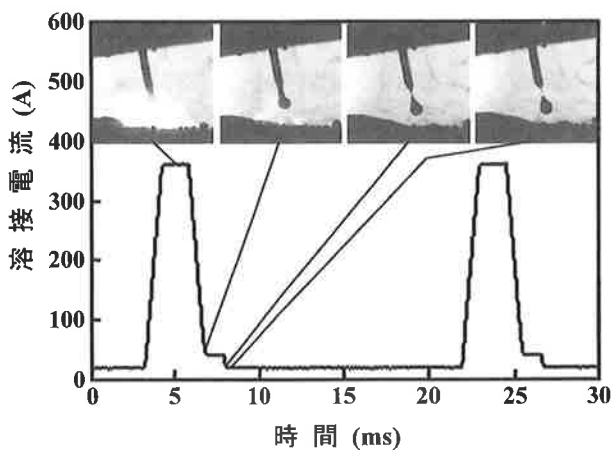


図3 AM50ワイヤによる溶滴移行

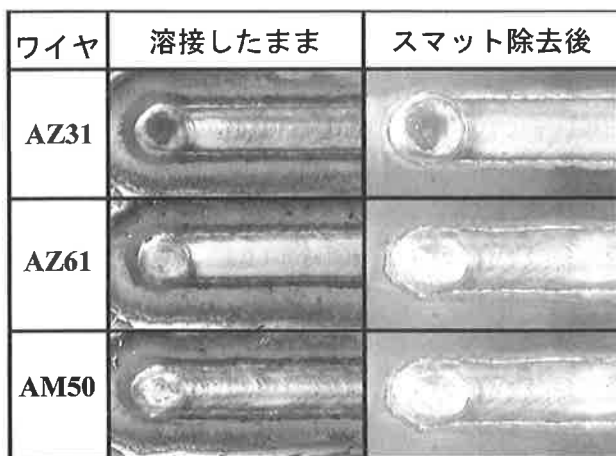


図4 ビード外観およびクリーニング状況

ビード外観を示したものである。いずれのワイヤともに、ビード止端部ぎりぎりまでマグネシウム酸化物と推定されるスマットがビード周囲を覆い、かろうじて溶接ビード上が金属光沢を示している。同様にスマットを除去した後の外観を示すが、クリーニング作用が起こっていた箇所は溶融池近傍のみであり、アルミニウムのミグ溶接

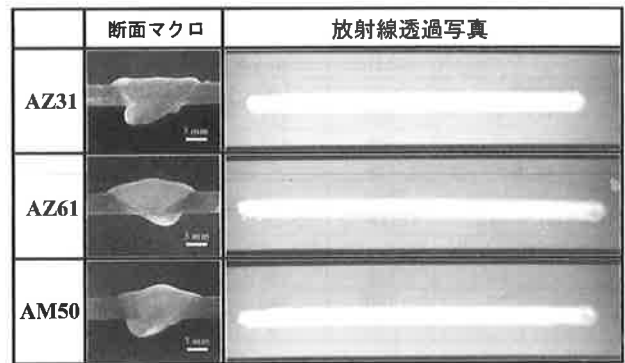


図5 横断面と放射線透過試験観察結果

に比べきわめてクリーニング発生領域が狭い。

図5は同溶接ビードにおけるマクロ断面とX線透過試験による内部欠陥観察結果を示したものである。

いずれの溶接ワイヤともにブローホールや割れ等の溶接欠陥は認められなかった。

4.2 ワイヤ溶融特性

図6はAZ31, AZ61およびAM50それぞれのワイヤ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ある。また、同図には比較のためにワイヤ径1.2mmのAl-Mg系合金ワイヤA5356の溶融特性も示した。AZ31, AZ61およびAM50はいずれも高いワイヤ溶融速度を示し、同一溶接電流値で比較した場合A5356に対して約2倍程度のワイヤ溶融速度であった。しかし、ワイヤ材質によるワイヤ溶融速度には大きな差は認められず、表1に示す合金成分範囲では合金添加元素によるワイヤ溶融特性への影響は少ないと考えられる。

このような高いワイヤ溶融特性を示す理由としては、表3に示す物理的性質からマグネシウム合金はアルミニ

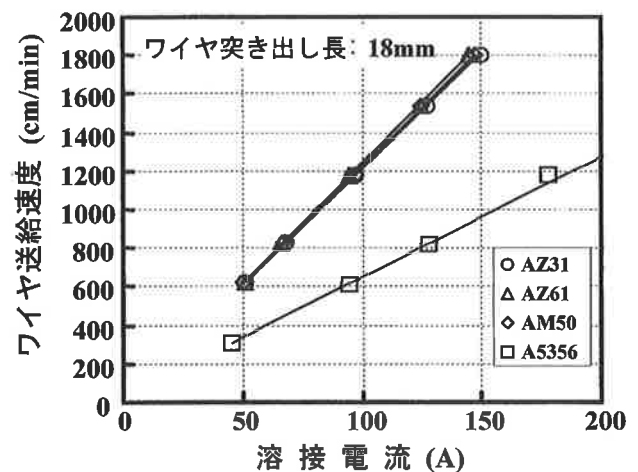


図6 ワイヤ溶融特性

表3 マグネシウム合金の物理的性質

	AZ31X	AZ61A-F	AM50A	A5356
比重 (g/cm ³)	1.77	1.80	1.77	2.64
融点(液相点, °C)	632	610	620	633
融点(固相点, °C)	560	525	565	575
比熱(J/cm ³ ·K)	180	—	—	240
線膨張係数(10 ⁻⁶ /°C)	26.8	27.2	26.0	23.0
熱伝導率 (W/mK)	77 (20°C)	79 (20°C)	65 (20°C)	116 (20°C)
電気抵抗(mΩ·mm ² /m)	92 (20°C)	125 (20°C)	120 (20°C)	59(20°C)
引っ張り強さ (MPa)	250	280	230	275
0.2%耐力 (MPa)	150	180	125	115
伸び (%)	7	6	10	24

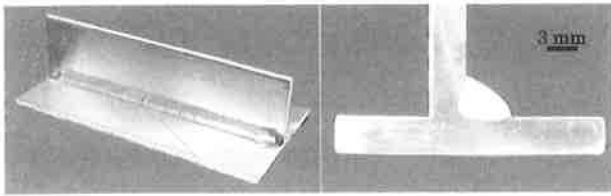


写真4 板厚6mmのAZ61材の水平すみ肉溶接例
(パルスミグ溶接, 145A, 20V, 70cm/分)

ウム合金に比べて融点はほぼ同等であるものの、

- ① 熱伝導率がアルミ合金に比べて約3分の2
- ② 電気抵抗が約2倍
- ③ 比熱が約4分の3

であることから、マグネシウム合金ワイヤの熱容量が小さく熱を蓄えやすいためであることが考えられる。

写真4はパルスミグ溶接によるT継手水平隅肉溶接例

を示したものである。

マグネシウム合金の溶接では溶接電流に対して高いワイヤ溶融量を示すので、余盛りが多く母材への溶込みが若干浅くなる。このため、溶込みを配慮した溶接条件設定が重要となる。

5 マグネシウム合金の重ね継手溶接

マグネシウム合金の実施工溶接を想定した場合、溶接継手としては重ねすみ肉継手の溶接が多く、さらに、ロボット溶接などの自動溶接を想定すれば溶接ワイヤの狙いずれや継手に存在する隙間（ギャップ）に対してどれだけの余裕度があるかが重要である。

図7は母材に板厚2.5mmのAZ31押出材を用いてパルスミグ溶接による重ねすみ肉溶接を行った場合の溶接ワイヤの狙いずれ裕度およびギャップ裕度を調べた結果である。なお、溶接ワイヤにはワイヤ径1.2mmのAZ61を用いており、溶接電流約100A（ワイヤ送給速度1150cm/分）、溶接速度100cm/分の条件を固定した。

この結果によれば、ワイヤの狙いずれの絶対量としてはギャップ量0.5mm以下では約2mm程度あり、0.5mmを越えるギャップでは約1mmである。

図8はギャップ0.5mmでワイヤ狙いずれによる重ねすみ肉溶接部の溶込み形状を示したものである。4.2項で述

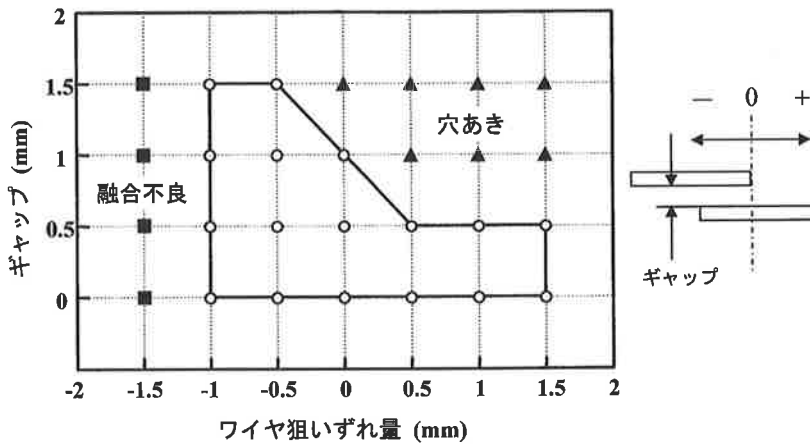


図7 ギャップ・ワイヤ狙いずれ裕度

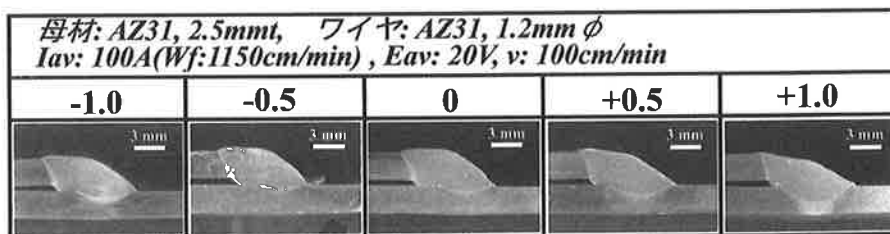


図8 溶込み形状に及ぼすワイヤ狙い位置ずれの影響

べたように溶接ワイヤの溶融速度が高いために、溶接ワイヤの狙いずれに対しては上板の端部から離れるほど良好な溶接結果となっており、下板への溶込みも適正なものとなっている。一方、上板側への溶接ワイヤの狙いとなるほど余盛が大きく下板への溶け込みが不足気味の溶接結果となってビード外観も悪い。また、上述した溶接条件ではギャップに対しては約1mm程度でも溶接が可能であり、それ以上のギャップでは溶着金属不足ために生じる穴あきビードに陥りやすい。

以上の結果は、マグネシウム合金薄板の重ねすみ肉溶接継手におけるギャップ・ワイヤ狙いずれ裕度範囲としてはアルミニウム合金や鉄鋼の場合と同等のレベルにあり、自動溶接性を困難なものにするレベルではない。

6 おわりに

市販のマグネシウム合金ワイヤを用いてパルスミグ溶接によって得られた溶接特性について紹介させていただいた。本稿でのデータはまだまだ不十分なところがあり、実施工での適用を考えれば

- ① 溶接割れや気孔発生などの溶接冶金的観点からの評価
 - ② 溶接継手における強度特性の調査
 - ③ 溶接ヒュームに対する対策
- など、研究課題も多い。今後、マグネシウム合金のアーーク溶接の普及に向けてこれらの課題を克服した研究開発の推進が望まれる。

参考文献

- 1) 清水：マグネシウム合金の溶接，平成14年度溶接学会関西支部シンポジウム資料，P. 9-20
- 2) 神戸：マグネシウム合金の最新動向—自動車部品への適用—，金属 Vol. 71 (2001) No. 8, P. 539-542
- 3) 中田：マグネシウム合金の溶接・接合，軽金属溶接構造協会誌，Vol. 39 (2001) No. 12, P. 582-591
- 4) H. Wohlfahrt, M. Rethmeier and S. Wiesner : Joining of lightweight magnesium alloys by MIG welding, Proc. of the 7th Int. Symp., JWS, 2001, Kobe, P. 375-380
- 5) 上山：最近のアーーク溶接機器の動向，2002国際ウエルディングショーガイドブック，P. 120-125
- 6) 全，西坂，上山：新型パルスMIG/MAG溶接機の開発，溶接学会全国大会講演概要集，71 (2002)，P. 234-235

