

# 高機能難燃性マグネシウム合金及び溶接部材の疲労強度特性評価 - 難燃性マグネシウム合金のTIG溶接条件の最適化 -

森田春美\*, 瀬戸口正和\*, 南晃\*, 岩本竜一\*

## Fatigue Strength Evaluation of Characteristics of High Performance and Flame Resisting Magnesium Alloy and Weld Parts - Optimization of TIG-Welding Condition of Flame Resisting Magnesium Alloy -

Harumi MORITA, Masakazu SETOGUCHI, Akira MINAMI and Ryuichi IWAMOTO

難燃性マグネシウム合金は、新たに開発された材料であるため、その溶接性や溶接部の性質・強度特性が明らかにされていない。そこで、一般的な溶接法であるTIG溶接について下向き突合わせ溶接、下向きすみ肉溶接及び水平すみ肉溶接の溶接条件を得るための実験を行った。溶接部の良否はX線透過試験、引張り試験、マクロ組織試験で評価した。その結果、それぞれの溶接姿勢における最適な溶接条件を確立することができた。

**Keyword** : 難燃性マグネシウム合金, 溶接性, TIG溶接, 溶接条件

### 1. 緒言

難燃性マグネシウム合金は、(社)日本鉄道技術協会から鉄道車両用として必須である不燃材として我が国で唯一認定された材料であるが、新たに開発された材料であるため、その溶接性や溶接部の性質・強度特性に関する基礎データは少ない。

そこで、一般的な溶接法であるTIG溶接における各種データを取得すると共に、得られた溶接部材の非破壊検査を行い、溶接欠陥を検査することによって溶接条件の可否を決定し、溶接条件を再検討し、最適条件を確立するための検討を行った。

なお、本研究は経済産業省「地域新生コンソーシアム研究開発事業（難燃性マグネシウム合金の高機能組織制御と鉄道車両用部材の開発）」の委託を受け、分担テーマとして平成17年度から18年度に実施した。

### 2. 実験装置および方法

#### 2.1 突き合わせ溶接

溶接加工実験に用いた材料は、板厚1.5mm, 2.0mmの難燃性マグネシウム合金（AMX602）、溶加材はワイヤ径2.0mmの共金を用いた。材料はシャーリングで切断し、開先面をフライス加工で仕上げ加工を行い、TIG溶接により両端面を仮付けした。仮付けは試験材の目違いを防ぐために仮付け治具を用い拘束状態で行った。

図1に溶接実験装置の概要を示す。本実験では溶接速度、トーチ角度、ワイヤ供給速度等の加工条件を一定にするために、自動走行台車とワイヤ供給装置を組み合わせる実験

した。溶接に用いた溶接機は、松下溶接システム(株)製のインバータ制御交直両用TIG溶接機（YC-300WX4）、ワイヤ供給装置は、松下電器産業(株)製 TIG-MATE(YJ-1051TUF)である。自動走行台車に溶接トーチを組み付け、溶接トーチ角度およびワイヤ供給角度は、任意に設定できる可変式とした。

また、溶接入熱による変形が大きいことが確認されていたため<sup>1)</sup>、本溶接でも拘束治具を用いて試験材を拘束して溶接した。拘束治具はバックシールド治具を兼ねており、裏ビードを大気から保護できる構造であり、さらに溶接時の温度測定ができるように治具裏側に、熱電対が取り付けられる構造である。溶接時の温度測定は、(株)チノー製の熱電対 L 500(K) と、(株)チノー製 多点温度記録計 EB 22005 で試験片の温度変化を測定した。

溶接加工は、ルート間隔を取らずに1パスで、表ビードと裏ビードが形成される溶接条件（溶接電流、溶接速度、ワイヤ供給速度）を求めた。トーチ角度（60°）、ワイヤ供給角度（30°）、シールドガス流量（15L/min）、バックシールド



図1 実験装置の概要

ドガス流量(10L/min)は固定条件とした。シールドガスはアルゴンガスを用いた。

溶接後は日本フィリップス(株)製, MG226/4.5を用いてX線透過試験を行い, 内部欠陥の有無を観察した。X線透過試験の終了後に, 1枚の試験片から2枚の引張り試験片を加工し, (株)島津製作所製, UH-1000kNAを用いて強度試験を行った。

最適条件の基準は, 表ビード及び裏ビードの外観が共に良好であり, X線透過試験の結果が良好であること, さらに引張試験において素材強度に近い値が得られることなどとした。

## 2.2 すみ肉溶接

溶接加工実験に用いた材料の組み合わせは, 板厚1.5mm, 2.0mmおよび4.0mmの難燃性マグネシウム合金(AMX602), 溶加材はワイヤ径1.2mmの共金を用いた。この理由は, すみ肉溶接は継ぎ手形状から, 電極先端とルート部との間隔が遠くなるためルート部の溶け込みを考慮したためである。仮付けは試験材の目違いを防ぐために仮付け治具を用い拘束状態で行い, 両端面および中央部の裏側から仮付けした。

溶接実験装置は図1のテーブル上にすみ肉溶接用の治具を設置して, 下向きおよび水平姿勢が保てるように固定して本溶接を行った。溶接に用いた溶接機その他は, 突き合わせ溶接と同様である。

すみ肉溶接は, 溶接姿勢によって下向き, 立向き, 水平すみ肉溶接に区分される。いずれの姿勢でも脚長が等しく水平板と垂直板への溶け込みが均等であることが理想である。一般的に等脚長の溶接ビードを得るためには, 下向き姿勢で溶接することが最も確実な方法であるが, 溶接する構造物の大きさや重量等により, 全ての溶接を下向き姿勢で行うことは困難である。このことから本研究では下向き

および水平すみ肉溶接の最適な溶接条件を検討した。

最適条件の基準は, 脚長及び溶け込み状態から溶接条件の良否を目視で判断し, マクロ組織試験で溶け込み状況を確認することで判断することにした。なお, すみ肉溶接は完全溶け込み溶接ではないため, 突き合わせ溶接に比べ強度は低いことは容易に推察されることから引張試験は実施しなかった。

## 3 結果及び考察

### 3.1 板厚1.5mm板の突き合わせ溶接

表1に溶接条件を, 表2にX線透過試験結果及び引張試験の結果を, 図2に溶接後の外観の一例を示す。表ビード, 裏ビードともほぼ一定の高さ, 幅が形成されており良好であった。また, 薄板の溶接で問題になるのが入熱による歪みの発生であるが, 拘束治具が銅製であったため大きな歪みは発生しなかった。

これらの溶接条件は, 同一の電流, 溶接速度, 供給速度で2枚の材料を溶接し, 2枚とも均一な表ビード及び裏ビードが得られた条件を適正条件として求めた。X線透過試験の結果は表2に示すように欠陥は認められなかった。X線透過写真の一例を図3に示す。また引張試験は, 溶接ビードを残したまま引張試験片に加工したものであるが, 強度は素材の引張強度より若干低い値を示した。このことは溶加材が共金であるためやむを得ない結果と思われる。破断位置は殆どの試験片がビード端部であり, 若干のアンダカットが発生したと考えられる。このような結果から1.5mm板のTIG下向き突き合わせ溶接の溶接条件は, ワイヤ径2mmの時, 溶接電流38~42A, 溶接速度250mm/min, ワイヤ供給速度は600mm/minが良好な条件といえる。

表1 板厚1.5mmの溶接条件

溶接条件	溶接電流	溶接速度	ワイヤ供給速度	トーチ角度	ガス流量	バックシールド流量
	38A	250mm/min	600mm/min	60°	15L/min	10L/min
	40A	250mm/min	600mm/min			
	40A	300mm/min	600mm/min			
	42A	250mm/min	600mm/min			

表2 引張試験及びX線透過試験結果

No	溶接条件	寸法(mm)	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )		破断箇所	X線結果
1		1.4×33.7	245	平均:237	ビード端部	欠陥なし
2		1.4×33.7	229		ビード端部	欠陥なし
3		1.4×33.7	239	平均:244	ビード端部	欠陥なし
4		1.4×33.7	249		ビード端部	欠陥なし
5		1.4×33.7	254	平均:240	母材破断	欠陥なし
6		1.4×33.7	226		ビード端部	欠陥なし
7		1.4×33.7	224	平均:235	ビード端部	欠陥なし
8		1.4×33.6	247		ビード端部	欠陥なし
素材	-	1.5×41.0	249		-	-



(a)表面ビード (b)裏面ビード

図2 1.5mm突き合わせ溶接のビード外観

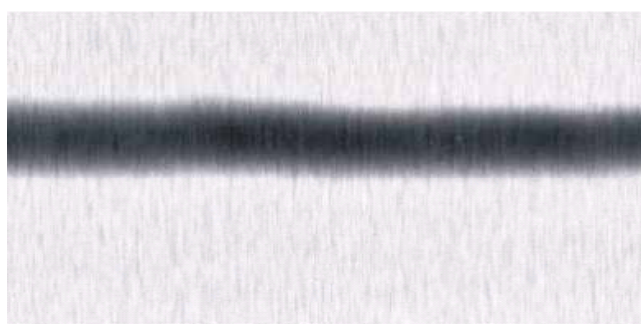


図3 X線透過写真の一例

表3 板厚2mmの溶接条件

溶接条件	溶接電流	溶接速度	ワイヤ供給速度	トーチ角度	ガス流量	バックシールド流量
	55A	200mm/min	700mm/min	60°	15L/min	10L/min
	55A	200mm/min	700mm/min			
	52A	180mm/min	700mm/min			
	58A	300mm/min	900mm/min			

表4 引張試験及びX線透過試験結果

No	溶接条件	寸法 (mm)	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破断箇所	X線結果
1		2.0 × 34.0	248	ビード端部	欠陥なし
2		2.0 × 34.0	242		
3		2.0 × 34.0	248	ビード端部	欠陥なし
4		2.0 × 34.1	253		
5		2.0 × 34.1	240	ビード端部	欠陥なし
6		1.95 × 34.0	211		
7		1.95 × 34.0	232	ビード端部	欠陥なし
8		2.0 × 34.1	243		
素材	-	2.0 × 40.2	253	-	-



(a)表面ビード (b)裏面ビード

図4 2mm突き合わせ溶接のビード外観

### 3.2 板厚2mmの突き合わせ溶接

表3に溶接条件を、表4にX線透過試験結果及び引張試験の結果を、図4に外観の一例を示す。X線透過試験の結果は表4に示すように欠陥は認められなかった。引張試験の結果は1.5mmの板材の場合と同様、素材より若干低い引張強度が得られた。このことは、板厚1.5mmの突き合わせ溶接の場合と同様に、溶加材が共金であるためと思われる。

このような結果から、2mm板のTIG下向き突き合わせ溶接の溶接条件は、ワイヤ径2mmの時、溶接電流52～58A、溶接速度180～300mm/min、ワイヤ供給速度は700～900mm/minが良好な条件といえる。

### 3.3 温度測定結果

溶接中の試験片の温度測定は、突き合わせ溶接の溶接線中心部から20mm、40mmの場所において全ての試験片において実施したが、最高でも50℃程度までしか上昇しなかった。試験片板厚が1.5mm、2mmと薄かったことと、拘束治具が銅製であるため冷却効果が大きかったためと思われる。また、すみ肉溶接においては試験片の温度測定は行っていない。

### 3.4 下向きすみ肉溶接

下向きすみ肉溶接の溶接条件を確立するために水平版2mm、垂直板1.5mmのすみ肉溶接について検討した。適正条件の判断基準は水平板、垂直板共に溶融してビード形状が滑らかな凹形に形成されることとし、溶接条件を検討した。表5に実験から得られた適正条件とビード外観の一例を示す。ビード外観例からわかるように、極めて滑らかなビードが形成されており、アンダカット等の外観欠陥も見あたらない。他の条件での外観も同様な結果であった。

このような結果から、この板厚における溶接条件は、溶接電流55～65A、溶接速度180～200mm/min、ワイヤ供給速度1300～1700mm/minが良好である。

表5 下向きすみ肉溶接の適正条件とビード外観例


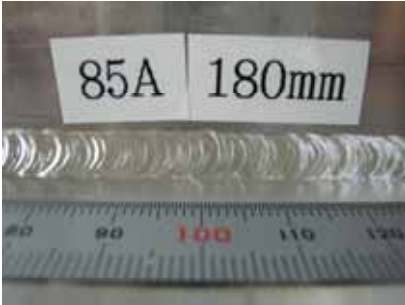
板厚(mm)	溶接電流	溶接速度	ワイヤ供給速度	ビード外観例
1.5+2	55A	180mm/min	ワイヤ径：1.2mm 1300mm/min	
	60A	200mm/min	1300mm/min	
	65A	200mm/min	1700mm/min	

表6 水平すみ肉溶接の適正条件とビード外観例

板厚(mm)	溶接電流	溶接速度	ワイヤ供給速度	ビード外観例
4+4	110A	180mm/min	ワイヤ径：1.2mm 2000mm/min	
	120A	180mm/min		
	130A	180mm/min		
4+2	80A	150mm/min	ワイヤ径：1.2mm 1300mm/min	
	85A	180mm/min		
	90A	180mm/min		
2+2	65A	150mm/min	ワイヤ径：1.2mm 1300mm/min	
	70A	200mm/min		
	75A	300mm/min		

### 3.5 水平すみ肉溶接

水平すみ肉溶接の溶接条件を確立するために、水平板4mmと垂直板4mm、水平板4mmと垂直板2mm、水平板2mmと垂直板2mmの3種類のすみ肉溶接について検討した。適正条件の判断基準は水平板、垂直板共に溶融してビード形状が滑らかな凹形に形成されることとし、溶接条件を検討した。

表6に実験から得られた板厚の組合せごとの適正条件と

ビード外観の一例を示す。ビード外観例からわかるように、極めて滑らかなビードが形成されており、アンダカット等の外観欠陥も見あたらない。他の条件での外観も同様な結果であった。

このような結果から、水平板4mm、垂直板4mmの組み合わせの水平すみ肉溶接では、溶接電流110～130A、溶接速度180mm/min、ワイヤ供給速度2000mm/minが、最適な溶接条件である。同様に水平板4mm、垂直板2mmの組み合わせ

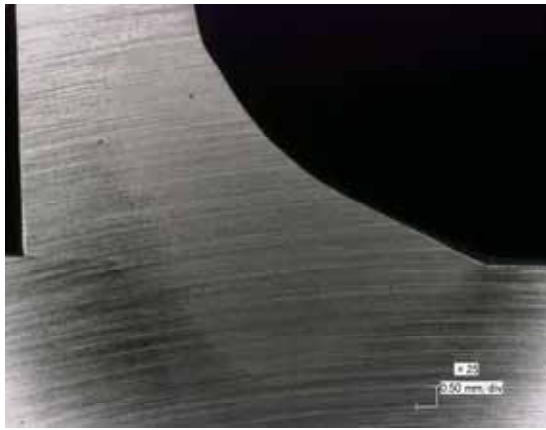


図6 水平すみ肉溶接のマクロ組織写真



図7 入熱過大による高温割れ

では、溶接電流80～90A、溶接速度150～180mm/min、ワイヤ供給速度1300mm/min、また水平板2mm、垂直板2mmの組み合わせでは、溶接電流65～75A、溶接速度150～300mm/min、ワイヤ供給速度1300mm/minが最適な条件である。

さらに、水平すみ肉溶接における溶け込みを確認するために、マクロ組織試験を行った。試験はSiCで研磨後、5%硝酸アルコールにてエッチングを行った。図6にマクロ組織写真の一例を示す。ルート部及び水平板、垂直板とも良好な溶け込みが得られていることがわかる。

一例として、水平板4mmと垂直板4mmを130Aで溶接した場合の脚長は6mm、のど厚は3.6mmで、母材への溶け込み量は水平板側が1.0mm、垂直板側が1.3mmであった。

これらの溶接条件の他に次のことがわかった。すみ肉溶接で重要視される脚長の確保については、電極の狙い位置をルート部の中心より水平板側に少しずらして溶接することで等脚長のビードを形成できることがわかった。溶接時の留意点として溶接速度が遅くなると入熱過大となり、高温割れが発生することがある。その割れの状況を図7に示す。

#### 4. 結 言

難燃性マグネシウム合金のTIG溶接実験を行った結果、次のことが明らかになった。

(1) 薄板の溶接においては溶接入熱により変形が大きい

め、拘束治具を用いることが肝要である。

- (2) 1.5mm板のTIG下向き突合せ溶接の溶接条件は、ワイヤ径2mmの時、溶接電流38～42A、溶接速度250mm/min、ワイヤ供給速度は600mm/minが適正である。
- (3) 2mm板のTIG下向き突合せ溶接の溶接条件は、ワイヤ径2mmの時、溶接電流52～58A、溶接速度180～300mm/min、ワイヤ供給速度は700～900mm/minが適正である。
- (4) 水平すみ肉溶接において、4mmと4mm、4mmと2mm、2mmと2mmの適正溶接条件が得られた。
- (5) 水平すみ肉溶接等で脚長を確保するには、電極の狙い位置をルート部の中心より水平板側に少しずらして溶接することで等脚長のビードを形成できることがわかった。
- (6) 難燃性マグネシウム合金の溶接を行う場合、溶接速度が遅くなると入熱過大となり高温割れが発生することがあり注意が必要である。

#### 参考文献

- 1) 平成17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「難燃性マグネシウム合金の高機能組織制御と鉄道車両用部材の開発」成果報告書、41-48



