

# 板厚の異なる AZ31 マグネシウム合金の FSW 継手材の曲げ加工性

日大生産工（院）

日大生産工

多ヶ谷 洋平

菅又 信，金子 純一，久保田 正広

## 1. 緒言

近年になって開発された固相接合の一種である摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding：FSW）は、接合時の熱影響による強度低下と熱歪みが非常に小さい。また、酸化防止対策を必要としないことが特徴でマグネシウム合金の接合に適している。

異なる板厚、材質、表面処理の有無の材料同士を接合により一体化したプレス用素材をテーラードプランクと呼んでいて、最近では、自動車の軽量化による排ガスの低減と、高剛性化による安全性強化を両立するため、自動車ボディーへの適用が増加している。

本研究では、板厚の異なる AZ31 合金板材を FSW で接合し、テーラードプランク材の接合部の機械的特性を明らかにするとともに、曲げ成形限界および曲げ変形を伴う張出し性を調べた。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

FSW する母材は板厚が 1.2mm と 2.5mm の AZ31 合金圧延板の焼きなまし材(O 材)であり、母材の圧延方向を FSW 方向とし、1.2mm を AS 側 2.5mm を RS 側として突合せ接合した。FSW 接合条件を Table1 に示す。

### 2.2 引張試験

全長 180mm、平行部幅 12.5mm、標点間距離 50mm の引張試験片を、長手方向に対して接合線が垂直となり標点間中心を横切るように採取した。

引張試験温度は常温( RT )と 473K であり、いずれも引張速度は 3mm/min とした。引張強

さを算出する試験片断面積は、板厚 1.2mm 側とした。各条件につき 3 本ずつ試験を行い、その平均値を求めた。なお、高温での引張試験は、試験温度に到達してから 5min 間保持した後に開始した。また、あらかじめ直径 2mm の円形パターンを高温用インク(マシューズ社製 M-145)により、脱脂した試験片表面に印刷して、円形パターンの直径の変化から破断後のひずみ分布を測定した。

Table 1 FSW condition

工具回転数 (rpm)	接合速度 (mm/min)	傾斜角	ショルダー径 ( )	ピン径 ( )
2000	500	3°	10	3

### 2.3 曲げ試験

全長 120mm 幅 20mm の試験片を用いて V プロック法により、ポンチ先端半径を R7 ~ R2 として曲げ角 90° の V 曲げ性を評価した。また、全長 60mm、幅 20mm の試験片を用いて押し曲げ法により、曲げ角 180° の U 曲げ性を調べた。ポンチ先端半径を R7 ~ R2 とした。なお 試験片の長手方向が接合線に平行となるように採取した場合を FSW0°、試験片の長手方向が接合線と垂直になるように採取した場合を FSW90° とした。FSW0° と FSW90° それぞれについて表曲げと裏曲げを行った。表曲げでは、継手の表側( FSW のショルダー側)が引張荷重を受ける( Face bend と示す)。裏曲げでは、継手の裏側( FSW のプローブ先端側)が引張荷重を受ける( Root bend と示す)。

ポンチ押込み速度はいずれも 10mm/min とした。V 曲げでは、負荷荷重を 5kN、荷重保

Bending formability of friction stir welded AZ31 magnesium alloy sheets  
with difference in thickness to each other.

持時間を 30 秒とし , U 曲げでは , ストローク量を 35mm , 荷重保持時間を 30 秒とした . なお , 板厚を揃えるため , 板厚 1.2mm の短冊状のスペーサー(Al 合金板)を薄板側にセットすると , しない条件で 3 本ずつ曲げ試験した .

#### 2.4 エリクセン試験

直径 90mm のエリクセン試験片は接合線が直径となる位置として旋削により作製した . 曲げ試験と同様に継手の表側が引張り側になるのを表張出し ( FSW face side と示す ) , 継手の裏側が引張り側になるのを裏張出した ( FSW root side と示す ) . また , 板厚を揃えるため , 板厚 1.2mm の半円のスペーサーの有無でエリクセン値を求めた ポンチ側の板面には , テフロンシートをセットして潤滑し , ポンチ移動速度を 6mm/min とした . 各条件につき 3 枚ずつの試験による平均値を求めた .

#### 2.5 コニカルカップ試験

直径 55mm のコニカルカップ試験片は接合線が直径となる位置で旋削により作製した . エリクセン試験と同様に 表張出しと裏張出しの荷重負荷方向と半円のスペーサーの有無の条件でコニカルカップ値を求めた ポンチ側の板面には , テフロンシートをセットして潤滑し , ポンチ移動速度を 10mm/min とした . 各条件につき 3 枚ずつの試験による平均値を求めた .

### 3. 実験結果

#### 3.1 引張試験

常温と 473K における継手の引張強さおよび破断伸びを Fig.1 に示す . 常温での引張強さは母材<sup>1)</sup>の約 75% と低下しており , また , 伸びも約 1% とほとんど伸びずに脆的に破断した . また 473K では , 母材と比較して強度低下は少なく , 母材より高い引張強さを示した . 伸びも , 4% と少なく脆的に破断した . またすべての試験片の破断箇所は板厚 1.2mm 側の攪拌部近傍であった 接合線を中心とした板厚 1.2mm 側 , 2.5mm 側の引張ひずみ分布を Fig.2 に示す . 常温と 473K ともに 板厚 2.5mm

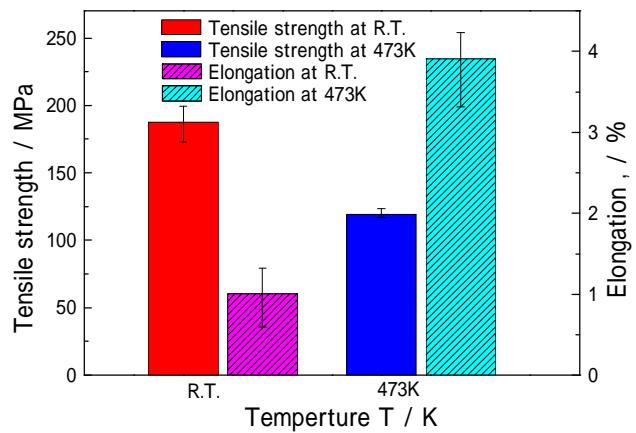


Fig.1 Tensile strength and elongation of joints at R.T. and 473K.

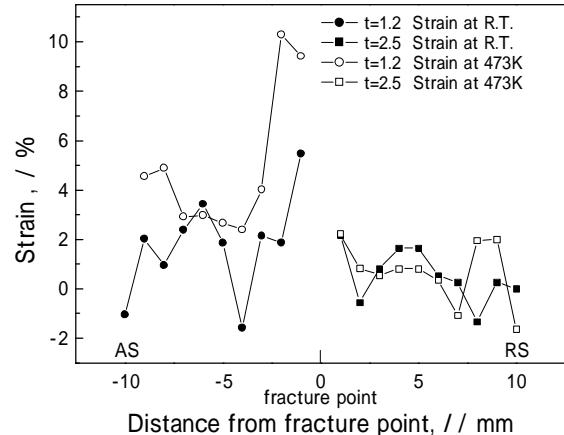


Fig.2 Strain distribution tensile fractured specimens.

Table 2 Results of V-block bend test

	FSW 0 °		FSW 90 °	
	スペーサ有スペーサ無		スペーサ有スペーサ無	
	表裏	表裏	表裏	表裏
R7	/	/	/	/
R6	/	/	/	/
R5	/	/	/	/
R4	/	/	/	/
R3	/	/	/	/
R2	/	/	/	/

: no crack  
 : crack  
 x : fracture  
 / : no test

Table 3 Results of U-bend test

	FSW 0 °		FSW 90 °	
	スペーサ有スペーサ無		スペーサ有スペーサ無	
	表裏	表裏	表裏	表裏
R7	x			x
R6		/		/ /
R5	/			/ /
R4	/	/		/ /
R3	/	/		/ /
R2	/	/		/ /

: no crack  
 : crack  
 x : fracture  
 / : no test

の部分では、ほとんどひずみが生じておらず、板厚 1.2mm 側のひずみが大きい事がわかる。特に破断部近傍でのひずみが大きく、わずかにがらくびれを生じた後に破断したことに対応している。また、板厚 1.2mm の部分でのひずみ量は 473K で大きくなる。

### 3.2 曲げ試験

V 曲げと U 曲げの試験結果をそれぞれ Table2 と Table3 に示す。一例として、FSW0° のスペーサー無しで V 曲げ試験した表曲げと裏曲げの曲げ試験片を Fig.3 および Fig.4 に示す。FSW0° のスペーサー無しで U 曲げ試験した表曲げと裏曲げの曲げ試験片を Fig.5 および Fig.6 に示す。

FSW0° の試験片を用いた V 曲げでは、スペーサーの有無に関わらずに、表曲げおよび裏曲げともに R7 で割れの発生が見られた。なお表曲げおよび裏曲げともに、ダイに接触するものは板厚 2.5mm 側が主体となり、2.5mm 側のみに割れの発生が見られ、板厚 2.5mm の AZ31 合金の曲げ成形限界が割れ発生を支配している。

FSW90° の試験片を用いた V 曲げでの表曲げでは、スペーサーの有無にかかわらずに R5 まで割れは見られなかった。表曲げでは、板厚 2.5mm の部分が曲がりにくく、負荷とともに曲げ中心が板厚 1.2mm の母材部にずれたため、母材の成形限界まで割れが発生しなかったと考えられる。また裏曲げの場合では、スペーサー有の場合でスペーサーの角部で押し込んでいる状態となり、曲率半径 R0 の曲げのため、割れが発生し易い。

U 曲げでは、ほとんどの試験片および曲げ荷重方向において R7 で割れの発生が見られた。FSW0° の試験片を用いた U 曲げでの表曲げのスペーサー無では、板厚 1.2mm 2.5mm の両方にポンチが接触しているので、同時に曲げ変形を受けるが、板厚 2.5mm 側の曲げ性が



Fig.3 Specimen after V-bending test.  
(FSW0°, Face side)



Fig.4 Specimen after V-bending test.  
(FSW0°, Root side)



Fig.5 Specimen after U-bending test.  
(FSW0°, Face side)



Fig.6 Specimen after U-bending test.  
(FSW0°, Root side)

劣るため 2.5mm の部分で割れが発生して、1.2mm 側に亀裂が伝播し破断したと思われる。

また、裏曲げのスペーサー無では、板厚 2.5mm 側のみにポンチが接触するため、2.5mm の部分が変形して、板厚 1.2mm は 2.5mm に伴って曲がっているため 2.5mm の曲げ成形限界で破断し、接合線に沿って裂けたと考えられる。

FSW90° の試験片を用いた U 曲げでの表曲げのスペーサー無では、板厚 2.5mm の部分が曲がりにくいため、板厚が急激に増加する接合界面で割れの発生が見られた。また、裏曲げのスペーサー無では、V 曲げと同様にポンチが板厚 2.5mm 側のみに接触してし、曲げ変形とともに曲げ中心が板厚 1.2mm の部分へずれ、熱機械攪拌部に引張荷重を受け、割れたと判断した。

### 3.3 エリクセン試験

エリクセン値を Fig.7 に示します。スペーサーの有無で比較すると、表張出しではスペーサーを用いると若干高い張出し量を示したが、裏張出しでは、無の条件でやや高い張出し量を示した。また、裏張出しと比べて表張出しの成形性がやや良好である。破断箇所は、表張出しでは板厚 1.2mm の熱機械攪拌部および接合界面で、裏張出しでは、接合線に沿って破断した。

### 3.4 コニカルカップ試験

スペーサー無の場合のコニカルカップ値を Fig.8 に示す。表張出しおよび裏張り出しによる違いは、ほとんど見られなかった。破断箇所はエリクセン試験と同様に、表張出しでは熱機械攪拌部および接合界面で、裏張出しでは接合線に沿って破断した。

## 4. 結言

(1) 板厚 1.2mm と 2.5mm の AZ31 合金板を接合した FSW 材の常温での引張強さの継手効率は、薄い板側の母材の約 75% である。473K では母材と比べて強度低下が少ないが、全伸びは常温および 473K においても著しく低い。

(2) V 曲げと U 曲げの FSW0° では、ポンチ接触面が板厚 2.5mm 側だけとなり、板厚 2.5mm の AZ31 合金の曲げ成形限界に依存し、V 曲げと U 曲げの FSW90° では、板厚 2.5mm 側が曲がりにくく、曲げ中心がずれることの原因となっている。

(3) エリクセン、コニカルカップ値ともに FSW 表張出しの張出し量が高くなつた。また破断箇所は、表張出しでは熱機械攪拌部および接合界面で、裏張出しでは接合線に沿って破断した。

## 5. 参考文献

- 1) 及川 誠二、大石 北斗：平成 17 年度機械工学科卒業研究概要集，(2005)，143

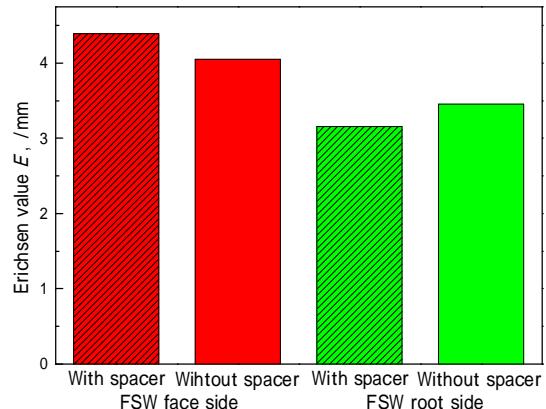


Fig.7 Erichsen value of joints.

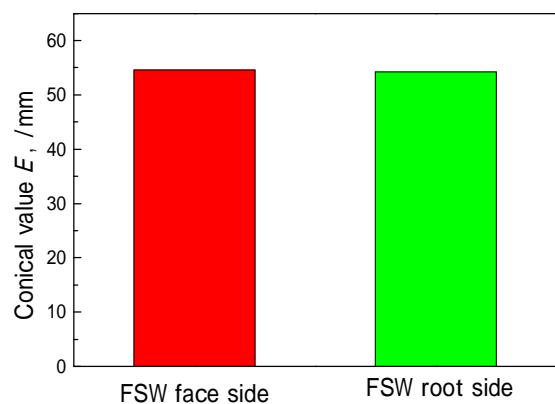


Fig.8 Conical cap value of joints.