# AZ31 合金厚板材の FSW 継手の高温特性

日大生産工(院) 玄永 正幸 日大生産工 金子 純一,久保田 正広,菅又 信

# 1. 緒言

マグネシウムはその軽量性やリサイクル性などの観点から,省エネルギーのための構造材料として理想的であるが,反面,耐食性や成形性などの問題点も多くあり,その使用用途は限られているのが現状である.しかし,環境保護への社会的要請もあり,それらの問題点も改善されつつある.今後マグネシウムの使用範囲が拡大されることが望まれる.

一方,金属材料の接合法として近年開発された FSW(Friction Stir Welding:摩擦攪拌接合)は,従来の溶融溶接と比べて優れた継手特性を示すなど,多くの利点がある.そのため,FSWの実用化が急速に進んでおり,今後多くの使用条件に対する性質に関するデータが必要になると思われる.しかし,FSW 継手の高温特性については不明な点が多い.

本研究では代表的な展伸用マグネシウム合金である AZ31 マグネシウム合金の FSW 継手の高温特性を検討するため、引張試験およびクリープ試験を実施し、母材の結果と比較しながら評価した.

# 2. 実験方法

供試材は厚さ 20mm の AZ31-O 圧延板材である. FSW 継手材には,圧延方向と平行に約500mm にわたり片面 1 パスで突合せ接合したものを用いた.接合条件は,ツール回転数550rpm,接合速度 50mm/min,前進角 4°である.接合部を X 線透過検査した結果,内部欠陥なしの判定が得られた.

FSW 継手横断面について ,マクロ組織観察およびその各部をミクロ組織観察した .

FSW 継手横断面についてマイクロビッカース硬さ分布測定を行った.硬さ試験は,試験荷重 100gf,保持時間 15s とし,板厚の厚さ方向に3つのラインを選び,板幅方向に 0.5mm 間隔で測定した.

引張試験には、標点距離 25mm, 平行部直径 5mm の丸棒試験片を使用した.試験温度は, 423K, 473K, 523K, 573K 及び室温, それぞれで引張速度を 0.1mm/min 及び 1mm/min とした.高温引張試験については,試験片の均熱化のため,試験温度で 30min 保持後に試験を開始した.

クリープ試験には,標点距離 50mm,平行部 直径 10mm の丸棒試験片を使用した.試験条件 は Table 1 に示す計 10 条件である.なお試験機 は一定荷重方式である.試験片の均熱化のため, 試験温度到達までの加熱時間も含め,試験温度 で 20h 保持後に試験を開始した.

Table 1 Conditions for creep tests.

Creep	Creep				
stress	load	Temperature (K)			
MPa	kgf	423	473	523	573
56.19	450				
37.46	300				
24.97	200				
12.49	100				

High temperature properties of FSW joints of AZ31 alloy plates

## 3. 実験結果

#### 3.1 組織観察

Fig.1 に継手横断面のマクロ組織を示す.継手上部に発生したバリは除去済みである.写真左側が AS (Advancing side),右側が RS (Retreating side)である.接合部中央のa) 攪拌部から外側にb)加工熱影響部,c)熱影響部が確認された.攪拌部は板上部から下部に向けてテーパ状であり,板厚中央の幅は約12mmとなっていた.また,中央よりやや上部を中心にオニオンリングが認められた.

Fig.2 に各部のミクロ組織を示す.一般に FSW の攪拌部は固相状態で攪拌作用を伴うため,母材や熱影響部に比べ微細な結晶粒組織が 形成されるが,本供試材では微細化の程度はごくわずかであった.これは,供試材が厚板であり接合速度が遅く,材料への入熱量が多いことにより,攪拌部付近で再結晶または回復現象が 進んだものと考えられる.

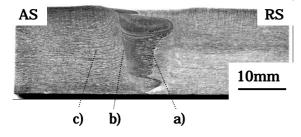


Fig.1 Macrostructure of FSW joint.

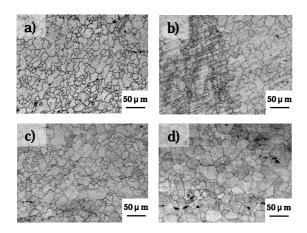


Fig.2 Microstructures of FSW joint. a) SZ , b) TMAZ , c) HAZ , d) Base metal

### 3.2 硬さ分布

Fig.3にFig.1に示した継手断面の硬さ分布図を示す.母材の硬さは58HVであるが,接合部付近にて硬さの変化はなく,そのため継手全体にわたり母材と同程度の硬さ分布となった.また,板厚方向の3つのラインの違いによる硬さの変化はなかった.

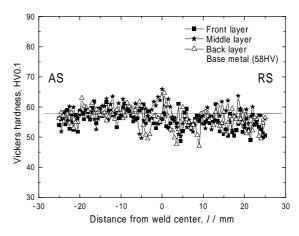


Fig.3 Hardness distributions of the FSW joint.

### 3.3 引張試験

一例として Fig.4 に試験温度 573K 引張速度 0.1mm/min で試験後の試験片外観写真を示す. 母材は標点間で一様伸びを示して破断したのに 対し ,FSW 継手では独特の破断形態を示してお リ,伸びの分布が不均一であった.FSW 継手は 攪拌部と加工熱影響部の境目付近である接合界 面で破断しているが,破断面には一部攪拌部も 含まれている.また,破断の起きなかった反対 側の接合界面において特定の向きに非対称なく びれが発生している. Fig.5 は試験後の試験片 各部の直径を測定し,試験前との直径の差で算 出した伸びの分布である.横軸の0が攪拌部中 央である.破断部付近で大きな伸びを示してお り,前述した非対称なくびれの位置でも高い値 を示した. 攪拌部では大きな伸びを示しておら ず,変形のほとんどが攪拌部両側の接合界面付 近で起きている、これらの現象は全ての試験条 件で共通していた.また,室温の試験では全て

AS の接合界面付近での破断であり、高温の試験でも多くがその傾向を示したため、RS よりも AS の方が強度が僅かに低いようである.

Fig.6, Fig.7, Fig.8 に各試験温度における引張強さ, 0.2%耐力, 伸びを示す. FSW 継手の引張強さは, O 材である母材よりも全ての条件で低下していた. 0.2%耐力も母材よりも低い値を示したが, 温度上昇による低下は小さい. FSW 継手の伸びは,破断面がいびつで若干ばらつきが生じたが, 母材よりも低い値となり, 573K で大きな伸びの増加を示した. また,高温では引張強さ, 0.2%耐力, 伸び共にひずみ速度依存性が現れた.

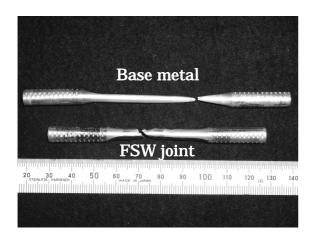


Fig.4 Test pieces of base metal and FSW joint after tensile test at 573K-0.1mm/min.

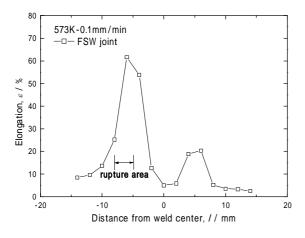


Fig.5 Distribution of elongation in FSW joint specimen at 573K-0.1mm/min.

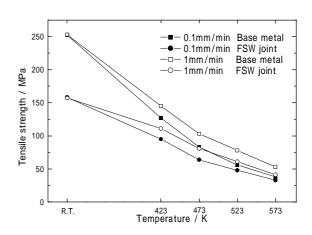


Fig.6 Tensile strength of base metal and FSW joint at various temperatures.

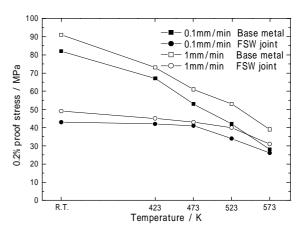


Fig.7 0.2% proof stress of base metal and FSW joint at various temperatures.

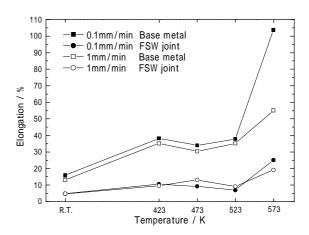


Fig.8 Elongation of base metal and FSW joint at various temperatures.

# 3.4 クリープ試験

一例として Fig.9 に試験温度 473K ,公称応力 37.46MPa でクリープ破断後の試験片外観写真を示す.クリープ試験の破断形態は,引張試験と同様のものもあるが,その他にも攪拌部の RS での破断,接合界面のみの破断,攪拌部 RS に 亀裂が発生したが別の箇所での破断,及びこれらが組合わさっての破断があった.破断の起因となる箇所は,接合界面と攪拌部 RS であるように思われる. Fig.9 の試験片は,接合界面と攪拌部 RS での破断が両方現れ,非常に複雑な破断の様子となった.引張試験と同様に攪拌部での変形はあまり見られず,接合界面には非対称なくびれが観察された.クリープ試験でも変形のほとんどが接合界面付近に集中していた.

Fig.10 に Fig.9 で示した母材と FSW 継手の クリープ曲線を示す.図中の×は破断点である. 母材 、FSW 継手共に遷移クリープはほとんど見 られず、試験開始後まもなく定常クリープ状態 となっている. 母材と FSW 継手の定常クリー プ時のクリープ曲線を比べると FSW 継手の方 が傾きの勾配がきつくなっていることがわかる. これは FSW 継手の定常クリープ速度が母材よ りも速いことを示し,両者のクリープひずみの 差は広がってゆく.母材はひずみ量が約0.2で 加速クリープに入り、その後短時間で大きな局 部ひずみを生じて破断に至っている .一方 FSW 継手は,母材ほど明瞭な加速クリープを示すこ となく破断に至っている.これは,破断部であ る接合界面, 攪拌部 RS の高温延性が母材と比 べて乏しいからである . そして , FSW 継手は母 材よりも小さな破断ひずみ,また短い時間で破 断に至っており,クリープ破断寿命は約1/3で ある.

以上の結果より ,FSW 継手の耐クリープ性は 母材と比べ著しく劣る .



Fig.9 Test pieces of base metal and FSW joint after creep test at 473K-37.46MPa.

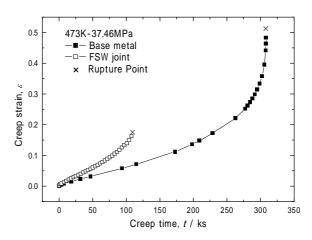


Fig.10 Creep curves of base metal and FSW joint at 473K-37.46MPa.

### 4. 結言

- (1) AZ31 マグネシウム合金 FSW 継手は,接合界面付近で優先的に変形を始め,破断もそこから起きることが多いが,攪拌部RS も破断の起因となり得る.また,攪拌部での変形はほとんどない.
- (2) FSW 継手の引張強さは O 材である母材 よりも下回り,0.2%耐力は試験温度の上 昇による低下が小さい.
- (3) FSW 継手は,母材に比べて定常クリープ 速度が速く,クリープ破断時間が短く, 破断ひずみが小さく,耐クリープ性に劣る.