

AZ31 マグネシウム合金の引裂靱性評価

日大生産工（院）

中 松 隆 一

日大生産工

朝比奈 敏 勝

1. はじめに

マグネシウムおよびその合金は実用金属中で最も比重が小さく、比強度、比耐力、寸法安定性、耐凹み性などに優れ、かつ被削性および高温での加工性が良好で減衰能も高いという特性を有している。さらに、地球環境保全の面でもリサイクル性に優れ、樹脂材料の代替材料としてモバイル情報機器や携帯型家電製品、自動車、福祉機器の分野等で注目され、使用されている¹⁾。

実用金属を機械材料として用いる際の信頼性の指標として靱性は重要な機械的性質であるが、評価試験として一般的なシャルピー衝撃試験、CTOD試験などは、厚板の靱性評価試験法である。そこで本研究では、アルミニウム合金薄板の靱性評価試験法である引裂試験をAZ31マグネシウム合金に対し実施した。

本研究室ではすでに引裂試験を純チタン薄板パルス YAG レーザ継手に対して実施し、母材との比較検討を行い報告している²⁾。また、マグネシウム合金が構造材としてより有効に使用されるためには、その接合は不可欠である。そこで本研究は、パルス YAG レーザを行い、得られた継手に対して引裂試験を実施して母材と比較検討した。

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 1.0mm の AZ31 マグネシウム合金を用いた。供試材の機械的性質を Table 1 に示す。溶接には最大平均出力 550W（最大パルスエネルギー 70 J）のパルス YAG レーザ装置を使用し、ルート間隔無し of I 型突合せ溶接を圧延方向に対して直角に行った。焦点位置は供試材表面とした。アシスト

ガス、バックシールドガスには Ar ガスを用いた。AZ31 マグネシウム合金のパルス YAG レーザ突合せ溶接において良好な引張強さを示した¹⁾溶接条件を Table 2 に示す。引裂試験には Fig.1 に示す ASTM B871 規格に準じた標準試験片を使用した³⁾。試験片は切欠き先端を溶接部中央に配置し、亀裂をビードと平行に進展させる（タイプ A）切欠き先端を溶接部中央に配置し、亀裂が溶接部を横断す

Table 1 Mechanical properties of base metal.

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
267.2	25.2	78.4

Table 2 Welding conditions.

Laser output	Q	(W)	500
Pulse width	PW	(ms)	5.0
Pulse frequency	f	(Hz)	20
Welding speed	V	(mm / min)	420
Gas flow rate	Assist	Ga	(ℓ / min) 30
	Backing	Gb	(ℓ / min) 20

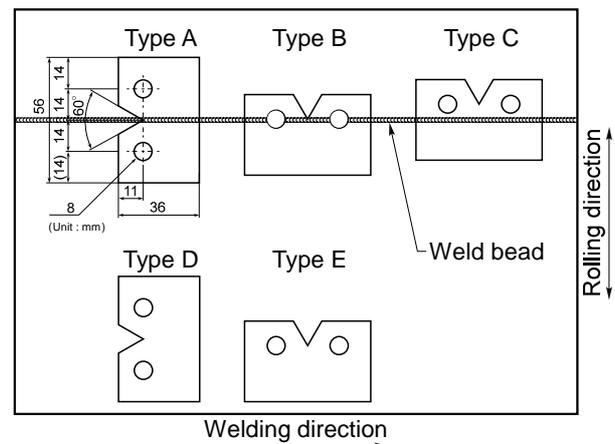


Fig.1 Sampling position, shape and size of tear test specimen.

るよう進展させる(タイプB)採取方向はタイプBと同じであるが,切欠き先端を母材内に配置する(タイプC),母材の試験片として,切欠きを圧延方向に垂直に配置する(タイプD)および,平行に配置する(タイプE)の五種類を機械加工により作成した.

引裂試験用ジグの模式図を Fig.2 に示す. 引裂試験はインストロン型万能試験機を使用し,室温にてクロスヘッド速度 1.0mm/minで行った. 引裂試験用ジグと試験片の間には摩擦による抵抗を軽減するため,スペーサーとして厚さ 0.1mm のテフロンシートを挿入した. 荷重はロードセルで測定し,試験片変位はクロスヘッド変位とした. クロスヘッド変位には試験機の遊びや掴み具の変位も含まれるためその誤差に対する考慮が必要であるが,本研究ではすべての試験を同じ試験機,同じ掴み具で行っているため,引裂靱性を直接比較する上で問題はないと考える. 最終的に試験片は塑性ヒンジを形成したため,低下した荷重が再び増加する点で試験を停止し,それまでの荷重とクロスヘッド変位のデータを用いて亀裂進展エネルギーを算出することとした.

靱性評価法を Fig.3 に示す. 引裂試験では Fig.3(1)のような荷重 - 変位曲線が得られ,亀裂発生時に最大荷重を示す. 荷重 - 変位曲線を,最大荷重を境に二つの領域に分け,各々の面積を求めることにより亀裂発生エネルギー E_i と,亀裂進展エネルギー E_p を求めた. E_p を試験片断面積で除した値,単位亀裂進展エネルギー UE_p は亀裂進展に対する抵抗パラメータである. UE_p は平面ひずみ破壊靱性 (K_{Ic}) と正の相関関係を有するとの報告がある⁴⁾. 本実験では UE_p によって靱性を評価した.

3. 実験結果および考察

継手の試験片であるタイプ A,タイプ B,タイプ C のうち,タイプ A ではすべての試験片で破壊が急速に進行し,データが得られなか

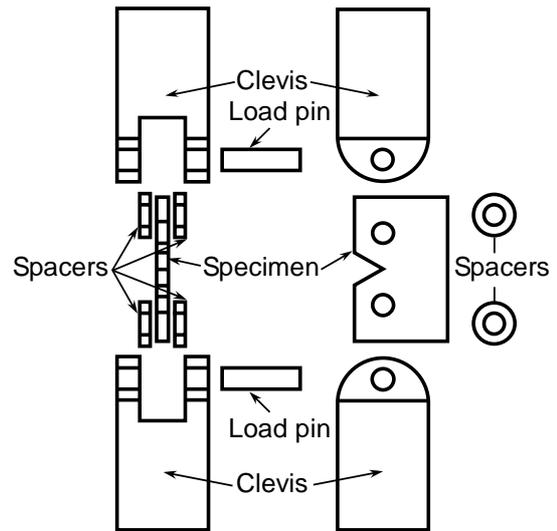
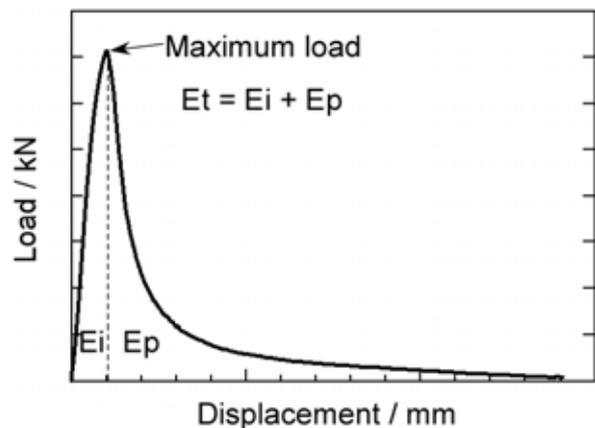
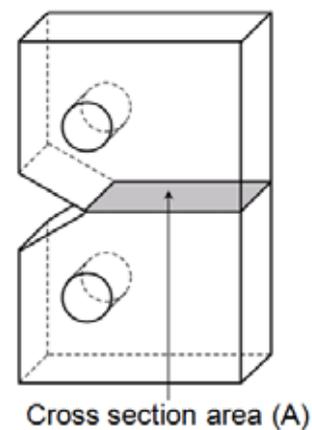


Fig.2 Schematic illustrations of tear test apparatus.



(1) Load-displacement curve.



E_i	: Crack initiation energy	[kN·m]
E_p	: Crack propagation energy	[kN·m]
E_t	: Total energy	[kN·m]
UE_p	: Unit propagation energy	[kN / m]
$UE_p = E_p / A$		

(2) Schematic illustration of tear test specimen.

Fig.3 Tear toughness evaluation method.

ったので以後タイプ B, C について述べる。Fig.4 に継手の横断面マクロ組織を示す。母材表面がレーザービームによって急速加熱され蒸発したため溶融凝固部の板厚が減少するアンダーフィルが認められ、さらに一部に割れが生じている継手も存在した。このことより、亀裂をビードと平行に進展させるタイプ A では母材と溶融凝固部の境界の断面積が減少した部分あるいは割れから急激に破断したと考えられる。

引裂試験後の試験片を Fig.5 に示す。試験片は垂直破壊である⁵⁾。垂直破壊とは亀裂の伝播経路と荷重軸に垂直な面との傾きが 10° 以内のものであり、試験結果は有効である。得られた試験片の中には一部、垂直破壊よりやや亀裂が偏向した場合もあったが結果には影響しないと考える。また、破面は荷重軸からほぼ 45° 傾斜した破面であった。

引裂試験によって得られたタイプ D およびタイプ B, C, E の荷重 - 変位曲線を Fig.6 に示す。タイプ D とタイプ E を比較すると、最大荷重はタイプ D では 1.95kN 、タイプ E では 1.91kN と同程度の値を示し、破断までの変位についても差が認められなかった。しかし、亀裂発生後はタイプ E が最大荷重点からほぼ垂直に降下しているのに対し、タイプ D はやや傾きが大きい傾向があった。これは亀裂発生に要するエネルギーは両タイプにほとんど差はないが、亀裂進展に要するエネルギーに若干差異があることを示している。タイプ B, C とタイプ E を比較すると、最大荷重はタイプ B, C とともにやや低い値となった。破断までの変位は、タイプ C はタイプ E と同程度であったが、タイプ B はややタイプ E に比して、大きい結果となった。また、タイプ C は亀裂発生後、亀裂がビードを通過する際に亀裂の進展が著しく遅れることが認められたが、最終的にタイプ B, C はほぼ同じ曲線となった。

UEp の測定結果を Fig.7 に示す。継手の試験片であるタイプ B, C はそれぞれ 62.0

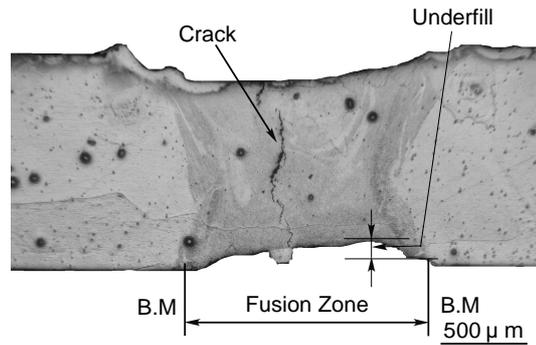


Fig.4 Macrostructure of welded joint.

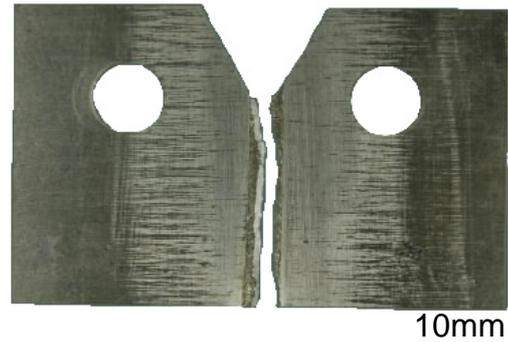
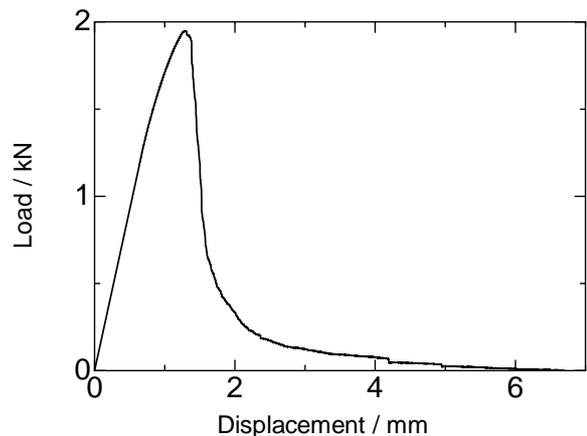
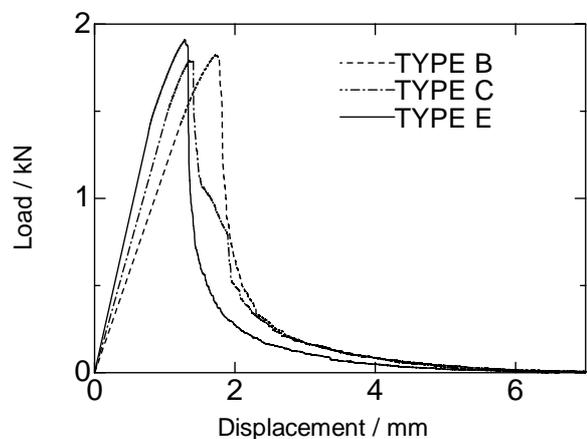


Fig.5 Tear tested specimen.



(1) Type D



(2) Type B, C, E

Fig.6 Load-displacement curves of tear test.

$\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$, $65.8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ となり, タイプ E の $27.8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ に対し, 約 2.3 倍程度となった. タイプ D では $39.2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ であり, タイプ E に比しておよそ 1.4 倍の引裂靱性を有していることがわかった. これは純チタンのタイプ D, タイプ E とは異なる傾向である²⁾.

SEM による破面観察結果を Fig.8 に示す. 亀裂発生直後の破面は凹凸の多い, 粗い破面となっているが, 亀裂が進展するにしたがって, 凹凸が少なくなっている. また, デンプルは明瞭には観察されなかった. 図には載せないが, タイプ E でも同様の傾向が認められた.

4. まとめ

AZ31 マグネシウム合金の溶接性は比較的良好であるが⁶⁾, 蒸気圧が高く, 表面張力が小さいことによりビード表面ではアンダーフィルが生じやすく, ビード裏面では溶落ちが生じやすい. すなわち継手の横断面が減少しやすいため, 継手強度が低下する. 継手の引裂試験であるタイプ A, B, C の三種類のうち, タイプ B, C の二種類に関しては引裂試験により靱性評価することが出来た. しかし, タイプ A すなわち熔融凝固部の靱性評価については不十分である. そこで, 引裂試験結果は試験片寸法や試験片形状に依存するので⁵⁾, 次のような対策を考えた.

- (1) 切欠きを小さくする.
- (2) 切欠き部はそのまま試験片の寸法を大きくする.
- (3) 急激な荷重を与えないようにクロスヘッド速度を遅くする.
- (4) 後熱処理をすることによって AZ31 マグネシウム合金 YAG レーザ継手の伸びが向上した¹⁾ので, 後熱処理を行ってから試験を実施する.

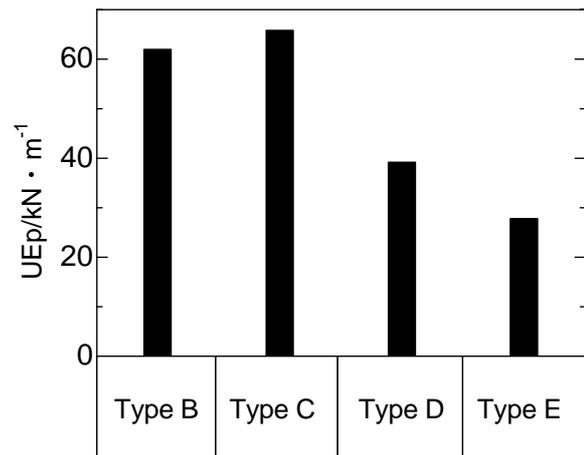


Fig.7 Result of unit propagation energies.

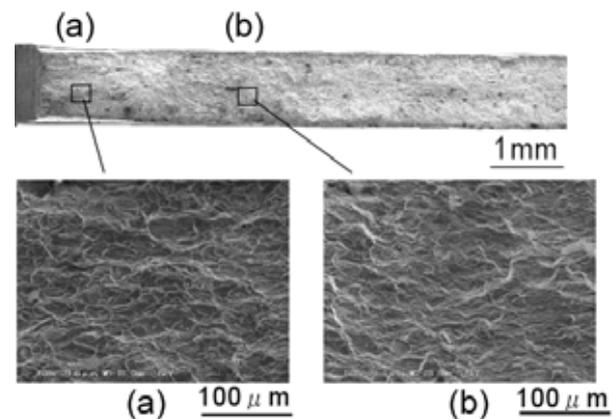


Fig.8 Microfractographs of tear test specimen.

(Type D)

参考文献

- 1) 田口成一, 朝比奈敏勝: マグネシウム合金薄板のパルス YAG レーザ突合せ溶接性 (2004)
- 2) 伊東大介, 朝比奈敏勝他: 純チタン薄板パルス YAG レーザ溶接継手の引裂靱性評価, 溶接学会 (2006)
- 3) ASTM standard, Designation: B871-01, standard Test Method for Tear Testing of Aluminum Alloy Products (2001), pp613-619.
- 4) 伊東大介, 朝比奈敏勝: 超臨海水反応容器用純チタン薄板溶接継手の引裂靱性
- 5) 熊井真次: 引裂試験, 鋳造工学 第 76 巻第 6 号 (2004) pp. 542-547.
- 6) 朝比奈敏勝他: AZ31 マグネシウム合金 TIG 溶接継手の諸性質, 軽金属 第 45 巻第 2 号 (1995) pp. 70-75.