

## 軽量チタンクラッドマグネシウム合金板の機械的性質と成形性

### Mechanical Properties and Formability of Lightweight Titanium-Clad Magnesium Alloy Sheets

井上博史 (大阪府立大学)

Hirofumi INOUE, Osaka Prefecture University

*Key Words:* Light Metal, Specific Strength, Press Formability, Corrosion Resistance, Welfare Equipment

#### 1. 緒言

近年、各種工業製品の軽量化が進められており、材料の高強度化以外に、金属材料ではアルミニウム、マグネシウム、チタンなどの軽金属の採用が検討されている。中でも、マグネシウムは実用金属中、最軽量であり、高い比強度（引張強さ／密度）をもつ。その他にも振動吸収性、電磁遮蔽性、耐くぼみ性、切削性、リサイクル性のような優れた利点を有するが、可燃性、中性・酸性域での乏しい耐食性、常温付近での難加工性といった大きな欠点も存在する。

著者らは、マグネシウムの耐食性と機械的性質を改善するために、マグネシウムの表面に耐食性、意匠性、強度・延性が良好なチタンを被覆したチタンクラッドマグネシウム合金 (TCM) 板を開発し、一般的な展伸用マグネシウム合金である AZ31Mg 合金 (Mg-3%Al-1%Zn) を用いて、AZ31Mg/Ti クラッド板の引張特性や成形性を調査した。その結果、チタン被覆により強度や絞り成形性が大幅に向上することがわかった<sup>(1)</sup>。しかし、チタン被覆による密度増加を補うには TCM 板を軽量化する必要があるため、主要層の AZ31Mg 合金をより高強度のマグネシウム合金に置き換えるために、AZ61Mg 合金 (Mg-6%Al-1%Zn) を用いて TCM 板の作製を行うとともに<sup>(2)</sup>、さらなる軽量化のために板厚の薄肉化を検討してきた<sup>(3)</sup>。本報告では、圧延接合法により作製した AZ61Mg/Ti および AZ31Mg/Ti クラッド薄板の優れた機械的性質と成形性を紹介する。

#### 2. 実験方法

供試材として 2.5mm 厚の AZ61Mg 合金と AZ31Mg 合金を使用し、573K で厚さ 0.9mm および 0.55mm まで温間圧延した後、厚さ 0.25mm および 0.15mm の工業用 1 種純チタン板と 573K~673K の温度範囲でそれぞれ圧延接合を行い、板厚が 0.9mm および 0.5mm の TCM 板を作製した。圧延接合後、接合強度を上げるために、アルゴンガス雰囲気中で 573K-600s の拡散焼鈍を施した。圧延接合プロセスの模式図を Fig. 1 に示す。本研究では TCM 板における Mg 層と Ti 層の厚さ比を 3:1 に統一したため、TCM 板の密度は約 2.4Mg/m<sup>3</sup> となった。比較材として TCM 板と同じ板厚の AZ61Mg 単板および AZ31Mg 単板も準備した。

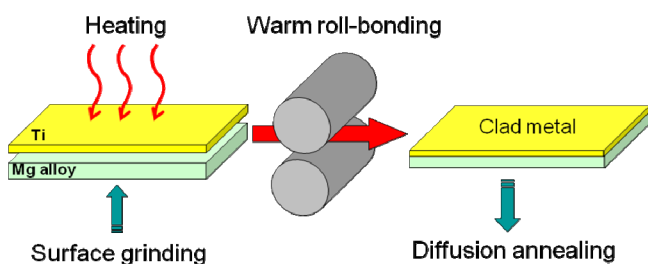


Fig. 1 Roll-bonding process for producing Ti-clad Mg alloy sheet.

得られた TCM 板の引張試験をひずみ速度  $1.67 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  にて室温および 473K~573K で行った。引張特性と集合組織（結晶配向）の関係を調べるために、X 線回折を用いて Schulz の反射法により、主要層である Mg 層の極点図を測定した。また、共振法を用いて室温のヤング率と剛性率を測定した。

円筒絞り試験を実施し、成形可能な温度と速度により成形性を評価した。TCM 板ではカップ外側が Ti 層となるように絞り成形を行った。潤滑剤には二硫化モリブデンペーストを使用し、絞り比を 1.67 一定として成形速度 0.167~16.7mm/s、成形温度 373K~473K で試験を行った。さらに、板厚 0.5mm の AZ61Mg/Ti クラッド板を用いて、Ti 層を外側にして成形速度 0.167mm/s および 8mm/s で 90°V 曲げ試験を室温で行った。

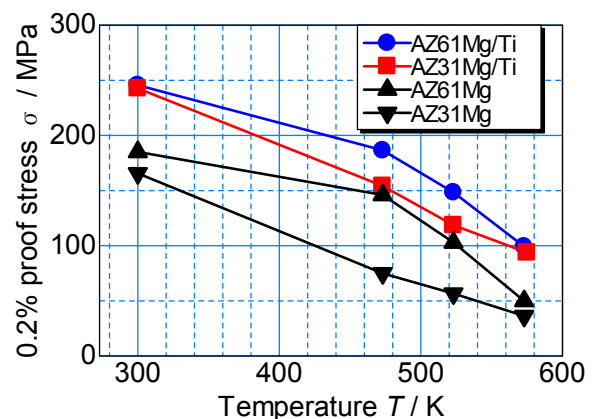


Fig. 2 0.2% proof stress as a function of test temperature for Ti-clad Mg alloy sheets and Mg alloy sheets.

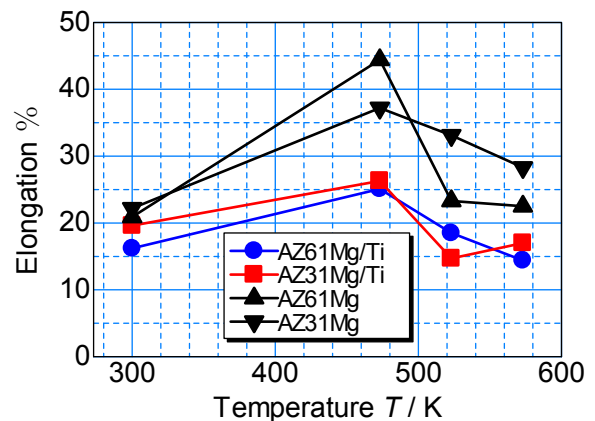


Fig. 3 Elongation as a function of test temperature for Ti-clad Mg alloy sheets and Mg alloy sheets.

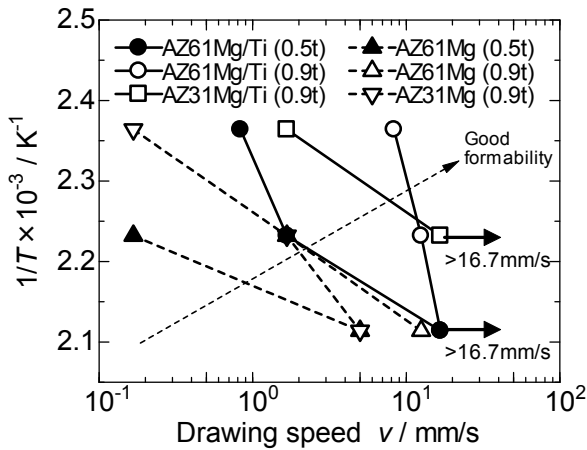


Fig. 4 Relationships between limiting drawing speed and test temperature for Ti-clad Mg alloy sheets and Mg alloy sheets.

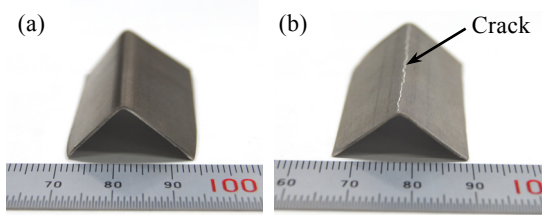


Fig. 5 Results of 90° V-bending test at room temperature.  
 (a) AZ61Mg/Ti bend radius : 0.5mm  
 (b) AZ61Mg bend radius : 1.5mm

### 3. 結果および考察

圧延方向に平行な試験片を用いて引張試験を行った結果を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。どの温度でも TCM 板は Mg 合金単板よりも 0.2%耐力が高く、特に高温で TCM 板と単板の強度が大きく異なり、573K では約2倍の値となる (Fig. 2)。これは主として圧延により加工硬化した Ti 被覆層の効果によると考えられる。また、AZ61Mg/Ti は AZ31Mg/Ti に比べて中温の 473K 付近で 0.2%耐力がかなり高く、AZ61Mg の効果が大きく現れている。Mg 層と Ti 層の複合則で 0.2%耐力を計算した結果、すべての試験温度で実測値の方が計算値よりも高い値を示し、Mg と Ti の接合による強度上昇の効果が認められた。

すべての試料において室温～473K では温度とともに伸びが上昇したが、523K では逆に低下し、573K では 523K とほぼ同じ値を示した (Fig. 3)。これは、TCM 板も単板と類似して Mg 層では底面集合組織をもち、かつ 473K 以下では底面すべりが支配的であるため、板厚減少が起こりにくいものに対して、523K 付近で底面すべり以外のすべり系が活発になり、板厚減少が比較的容易になったためと考えられる。

ヤング率は AZ61Mg/Ti および AZ31Mg/Ti とともに約 63GPa であり、単板の約 44GPa よりも大幅に増加した。剛性率も TCM 板で約 23GPa であり、単板の約 16GPa と比較して大きく増加した。これらの値は Mg 層と Ti 層の複合則で計算した値とほぼ同じである。

成形温度を 423K～473K に固定し、限界成形速度を測定した結果を、成形速度と試験温度の逆数 1/T の関係として Fig. 4 に示す。この図から TCM 板は Mg 合金単板よりも低温・高速で絞り成形が可能であることがわかる。Fig. 5 に成形速度 8mm/s における室温での 90°V 曲げ試験結果を示

す。AZ61Mg 単板では曲げ半径 1.5mm で割れが発生したのに対して、AZ61Mg/Ti クラッド板では曲げ半径 0.5mm でも成形可能であり、TCM 板の良好な曲げ成形性が確認できる。成形性の大幅な改善は主として Ti 被覆による Mg 層での引張応力の低減に起因すると考えられる。

### 4. 総括と今後の展開

本研究の実験結果に基づいて、TCM 板と Mg 単板の特性を比較した結果を Table 1 に示す。この表から明らかのように、TCM 板は Mg 単板と比べて優れた強度と成形性を有することがわかる。Ti 被覆により耐食性や意匠性も優れるため、車椅子などの福祉機器への TCM 材の応用が大いに期待できる。実際に、厚さ 0.5mm×幅 200mm×長さ 750mm の AZ61Mg/Ti クラッド板を作製し、曲げ加工を行った結果、寸法精度の良好な成形品を得ることができた。今後、広幅・長尺の TCM 板を得るために、コイル材の作製を検討する必要がある。

Table 1 Comparison between properties of AZ61Mg/Ti clad sheet and AZ61Mg sheet.

Property	AZ61Mg/Ti	AZ61Mg
Youngs' modulus (GPa)	63	44
Specific Youngs' modulus (GPa/(Mg/m <sup>3</sup> ))	26	25
Yield strength at R.T. (MPa)	246	185
Yield strength at 473K (MPa)	187	146
Yield strength at 573K (MPa)	99	50
Specific yield strength at R.T. (MPa/(Mg/m <sup>3</sup> ))	102	104
Tensile strength at R.T. (MPa)	331	295
Tensile strength at 473K (MPa)	218	181
Tensile strength at 573K (MPa)	108	61
Drawability (drawing ratio 1.67)		
Limiting speed at 423K (mm/s)	0.83	failure
Limiting speed at 448K (mm/s)	1.67	0.167
Limiting speed at 473K (mm/s)	≥ 16.7	5.0
90° V-bending at R.T.		
R/t at 0.167 mm/s	≤ 0.2	~ 4.0
R/t at 8 mm/s	≤ 1.0	~ 6.0
Erichsen test (mm)	6.2	3.1

### 参考文献

- (1) H. Inoue, M. Ishio and T. Takasugi, Texture, Tensile Properties and Press Formability of Mg-3Al-1Zn/Ti Clad Sheets Produced by Roll-Bonding, Materials Science Forum, Vols. 495-497, pp. 645-650, 2005.
- (2) 井上博史, 水谷清志, 中村邦彦, 高杉隆幸, 圧延接合したAZ31Mg/TiおよびAZ61Mg/Tiクラッド板の集合組織と成形性, 第59回塑性加工連合講演会講演論文集, pp. 257-258, 2008.
- (3) 井上博史, 中村邦彦, 高杉隆幸, 圧延接合したチタンクラッドマグネシウム合金板の成形性と引張特性, 第60回塑性加工連合講演会講演論文集, pp. 37-38, 2009.