

# アルミニウム合金とマグネシウム合金の高強度面接合技術の開発

ものづくり研究開発センター 山岸英樹、中央研究所 住岡淳司、柿内茂樹、富田正吾\*

## 1. 緒言

輸送機器や福祉機器等における軽量な高機能素材活用の観点から、アルミニウムとマグネシウム合金の異材接合技術(マルチマテリアル化技術)が望まれている。これにはこれまでも拡散接合<sup>1)</sup>や摩擦攪拌接合<sup>2)</sup>を用いた手法が報告されている。しかしながら従来法では、減圧等の環境が必要なこと、接合加工に時間を要すること、またその適用条件、例えば点や線接合に限られることなど、実用に供するには不都合な点が見受けられる。

本研究では、実生産的な技術開発を目的として、高強度な面接合を可能とする大気下短時間プロセスについて、プレス機を用いた鍛接方法により検討した。

## 2. 実験方法

母材を AZ80 と A6151 もしくは A2017 の鋳造ビレット(組立寸法:φ204×368 mm)とし、型鍛造(鍛練比:2.7)による接合加工を荷重保持時間 20 秒として実施した。インサート材を用いない直接接合のほか、インサート材に純銅、純ニッケル及び純チタンを用いた場合における接合強度に及ぼす影響を、バーナー炉による予熱温度(雰囲気温度)及び加工圧力をそれぞれ 250~480 °C 及び 100~750 MPa まで変化させ評価した。なお、予熱保持時間は約 90 分とし、またインサート材によって、試した加工条件範囲は異なるものとした。接合部材の特性及び接合界面の評価は、引張試験、SEM/EDS 分析、EPMA 分析及び FIB-TEM/EDS 分析により実施した。評価材は接合部材中央近傍から採取した。

## 3. 実験結果および考察

Fig. 1 に各接合試験の最大引張強さおよびその接合加工条件を示す。高荷重負荷の本プロセスにより直接接合においても、その引張強さ(56 MPa)は一般的な拡散接合(10 MPa 程度<sup>1)</sup>)を上回った。この直接接合における接合界面を Fig. 2(a)に示す。数百 μm スケールの著

しい塑性流動界面の形成とともに、脆弱な金属間化合物 ( $Al_3Mg_2$  及び  $Al_{12}Mg_{17}$ ) が厚み約 30 μm 形成され、ワレやボイドが数多く見られた。引張試験における破面は、ボイドが多く生じた  $Al_3Mg_2$  側であった。

インサート材に純銅及び純ニッケルを用いた場合は、それぞれ最大引張強さが 100 MPa 及び 119 MPa と大きく向上した。いずれの界面もある程度酸化の影響があるものの、直接接合の場合とは異なり、SEM/EPMA で確認できる μm 厚の反応層は生成しておらず良好な界面であった。またいずれも数 μm スケールの微細な塑性流動界面を形成していた。

一方、インサート材に純チタンを用いた場合は、引張強さが著しく増加し(151 MPa)、その最大継手効率、AZ80 鋳造ビレットに対して 93 %に達した。なお、本インサート材の場合、アルミニウム合金が A6151 では母材破断となったため(Fig. 3)、A2017 を用い接合後に

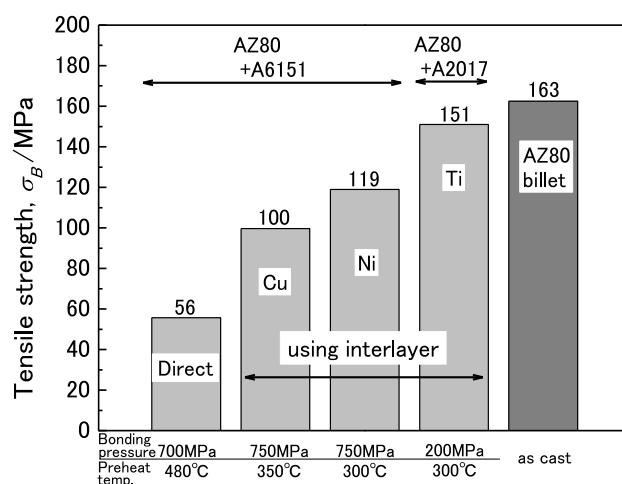


Fig. 1 Tensile strength of the Mg-Al bonded joints and AZ80 base metal.

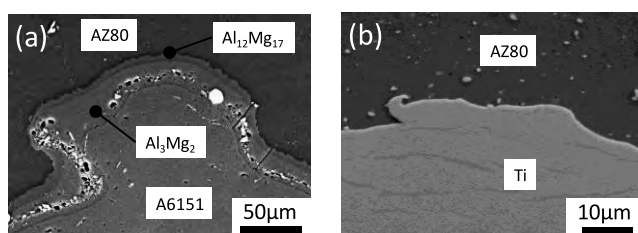


Fig. 2 SEM images of the bonded interface of (a) the direct bonding and (b) using Ti interlayer.

※現 企画管理部

適当な熱処理を施した。この場合の接合加工条件は、直接接合及び他インサート材に対し低温・低圧となり、最も省エネルギーなプロセスとなった。また、その接合界面(Fig. 2(b))は、他のインサート材に比べて塑性流動界面が顕著であった。純チタンは他インサート材に比べ高温強度が著しく低下するためと考えられる。

Fig. 4に引張試験で破壊側となるAZ80-Ti界面におけるTEM観察及びEDS分析の結果を示す。本界面には(II)に示す通り、AZ80母相(I)に比べアルミニウムが著しく濃化した約60nmの反応層が形成されていることが分かった。すなわち、接合機構として母材のAZ80に含まれるアルミニウム成分とチタンとの反応により、薄く良好に接合していることが確認できた。チタンとマグネシウムは相互溶解度が極めて小さい。マグネシウムにクリティカルな反応層を形成させないことが高強度ナノ接合界面形成のポイントと考えられる。

#### 4. 結言

アルミニウム合金とマグネシウム合金の高強度面接合技術を鍛接法により開発した。塑性流動性が良くマグネシウムとの反応が乏しい純チタンをインサート材として用いることで、引張強さは151 MPaとなった(継手効率93%)。本法は生産性が高く実用に向く。輸送機器分野をはじめ今後各分野でますます必要とされる「マルチマテリアル化技術」としての活用が期待できる。

キーワード：異材接合、鍛接、アルミニウム合金、マグネシウム合金

### Development of High-Strength Bonding of Magnesium Alloy to Aluminum Alloy

Hideki YAMAGISHI, Junji SUMIOKA, Shigeki KAKIUCHI and Shogo TOMIDA

The forge-welding process was examined to develop a high-strength bonding application of magnesium (Mg) alloy to aluminum (Al) alloy under high-productivity conditions. The effect of the insert material on the tensile strength of the joints, under various preheat temperatures and pressures, was investigated by analyzing the reaction layers of the bonded interface. The tensile strengths resulting from direct bonding, using pure copper (Cu), pure nickel (Ni), and pure titanium (Ti) inserts were 56, 100, 119, and 151 MPa, respectively. The maximum joint strength reached 93% with respect to the Mg cast billet. During high-pressure bonding, a microscopic plastic-flow occurred that contributed to an anchor effect and the generation of a newly formed surface at the interface, particularly prominent with the Ti insert in the form of an oxide layer. The bonded interfaces of the maximum-strength inserts were investigated using scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) and electron probe microanalysis. The diffusion reaction-layer at the bonded interface consisted of brittle Al-Mg intermetallics having a thickness of approximately 30  $\mu\text{m}$ . In contrast, for the three inserts, the thicknesses of the diffusion reaction-layer were infinitely thin. For the pure Ti insert, exhibiting the maximum tensile strength value among the inserts tested, focused ion beam-transmission electron microscopy-EDS (FIB-TEM-EDS) analysis revealed a 60-nm-thick Al-Ti reaction layer, which had formed at the bonded interface on the Mg alloy side. Thus, a high-strength Al-Mg bonding method in air was demonstrated, suitable for mass production.

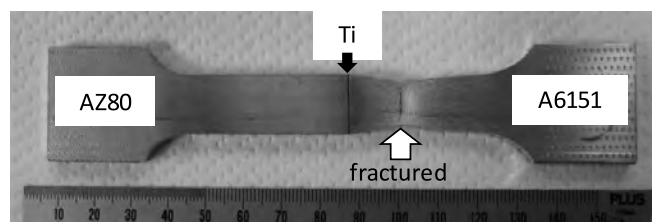


Fig. 3 Appearance of the Mg-Al bonded joint.

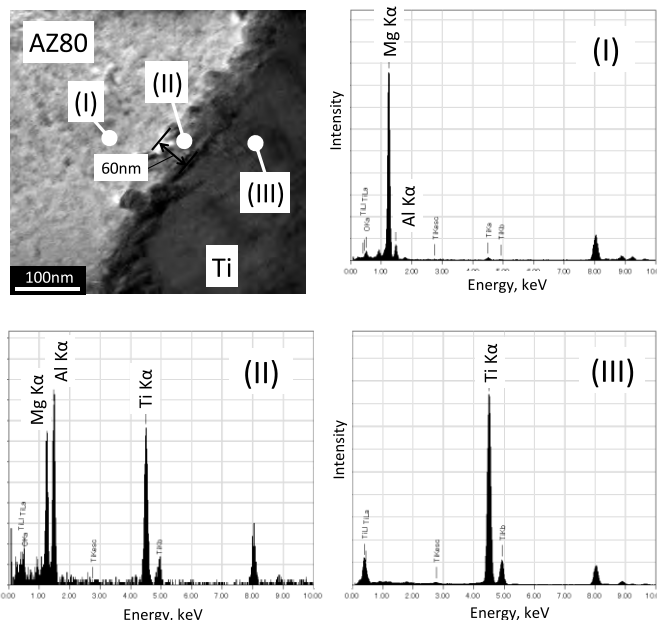


Fig. 4 TEM bright-field image of the bonded interface of AZ80-Ti and the EDS analyses of the point of (I), (II) and (III).

#### 参考文献

- 1) 平石、石川、田宮：新潟県工業技術研究報告書、**33**(2004)49-52.
- 2) N. Yamamoto *et al.*: *Mater. Trans.*, **50**(2009)2833-2838.