

# 圧縮ねじり加工法を用いた 異種金属材料の固相接合の検討

成 田 麻 未\*

## Solid-state Bonding of AZ31 and A1050 by Compressive Torsion Processing

Mami MIHARA-NARITA\*

Solid-state bonding between dissimilar metals AZ31 magnesium alloy and A1050 aluminum was investigated using a Compressive Torsion Processing (CTP) method. This technique was expected to promote interfacial bonding through severe plastic flow while suppressing the formation of brittle Mg–Al intermetallic compounds that commonly occur in fusion welding processes. Bonding experiments were conducted at temperatures of 250°C and 300°C under a compressive stress of 100 MPa with 10 rotations. At 250°C, no bonding was achieved and the specimens separated during die removal. At 300°C, the specimens appeared to be bonded immediately after processing; however, interfacial delamination occurred during specimen sectioning for tensile testing. Scanning electron microscopy (SEM) observations revealed the presence of interfacial voids and incomplete bonding regions. Although plastic deformation was promoted at 300°C, continuous metallurgical bonding across the entire interface was not achieved. The results suggest that higher strain accumulation and more effective oxide film disruption are necessary to establish stable bonding. These findings clarify the critical role of processing temperature and total strain in achieving solid-state bonding between Mg and Al alloys using CTP.

### 1. 緒言

省エネルギーの観点から、軽量効果の大きいマグネシウム合金の輸送機器への適用が望まれている。しかし一般には、マグネシウム合金は耐食性や強度の面でその利用には制約が多い。一方、アルミニウムは加工性および耐食性に優れ、広く実用化されている。これらMg/Al異種材料を接合できれば、軽量かつ高機能な複合構造の実現が期待される。具体的には、マグネシウム合金とアルミニウム合金から成る部材を接合する際の継手としての活用や、アルミニウム合金でマグネシウム合金を被覆して耐食性や強度を補うような接合技術が注目されている。

両合金の冶金学的接合には、固相接合に分類される拡散接合や摩擦攪拌接合(FSW)がある<sup>1,2)</sup>。従来の拡散接合では、部材を密着させて母材の融点以下の温度条件で塑性変形をできるだけ生じない程度に加圧し、接合面間に金属結合を実現して接合するが、接合部の強度が十分に得られない。数十分から数時間の加熱および加圧保持時間を要することから、接合界面に脆性的な金属間化合物層が生成することが大きな問題となる。FSWは金属間化合物層の生成抑制に有効であるが、一度に大きな範囲を接合するには向かない場合があり、接合できる部品の形状やサイズに制限があることから実用的には線あるいは点接合に限られてしまう問題を抱える。

本研究では、高ひずみを付与可能な圧縮ねじり加工法<sup>3)</sup>(Compressive Torsion Processing (CTP), 図1)に着目し、界面に強いせん断塑性流動を生じさせることにより冶金学的接合を実現する「塑性流動接合」を試みた。本報ではAZ31とA1050の接合挙動について検討した結果を報告する。

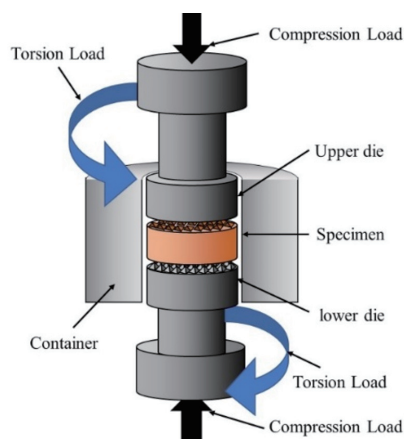


図1 圧縮ねじり加工装置の模式図。

### 2. 実験方法

供試材は汎用マグネシウム合金であるAZ31および純アルミニウムであるA1050とした。いずれも押出材であり、試料サイズはΦ40 mm、高さ10 mmとした。両材料を突き合わせ配置し、加熱下で圧縮ねじり加工を行った。本研究で用いた

2026年3月2日 受理

\* 豊田理研スカラー

名古屋工業大学大学院工学研究科

圧縮ねじり加工法は、円柱状試料に圧縮負荷と回転ねじり負荷を同時に付与する強ひずみ加工法であり、形状を保持したまま大きなせん断ひずみを導入できる特徴を有する。過去の研究<sup>3)</sup>では、本加工法において試料内部のせん断ひずみが半径および回転回数にはほぼ比例して増加することを報告しており、特に半径方向および高さ方向に不均一なひずみ分布が生じることを明らかにしている。本研究ではこれらの知見を踏まえ、回転数10回転条件における界面塑性流動の発現可能性を検討した。加工温度は250℃および300℃であり、所定の温度に到達するまでの昇温時間は1時間とした。圧縮応力は100 MPa、回転数は10回転として加工を実施した。加工後、試料断面を切断・研磨し、走査型電子顕微鏡(SEM)により界面観察を実施した。

### 3. 実験結果および考察

250℃においては、加工終了後の金型解体時に試料は界面で分離し、接合は確認されなかった。界面には連続的な接合層は形成されておらず、塑性流動による一体化は不十分であったと考えられる。AZ31は中温域において変形能が向上するものの、250℃では界面全体に十分なせん断ひずみが付与されなかった可能性がある。

300℃においては、加工直後には試料は一体化しており、外観上は接合が成立したように観察された(図2)。しかし、引張試験片採取のため微小試験片を切断した際、微小試料の界面で剥離が生じた。接合体のSEM観察の結果、界面には複数の空隙が存在していることが確認された。界面は全面的に連続接合しているのではなく、局部的接触部と未接合部が混在する状態であった。

以上の結果は、300℃では塑性流動は促進されたものの、以下の要因により完全な冶金的結合に至らなかったことを示唆する。

- 1) MgおよびAl表面の酸化皮膜の残存
- 2) 回転数10回転では総ひずみ量が不足
- 3) 界面圧力分布の不均一

特にMgおよびAlは酸化しやすく、酸化膜が完全に破壊・排出されなければ真の金属接触は成立しない。今回の条件では界面全面で酸化膜破壊が達成されなかった可能性が高い。

以上より、本研究条件では塑性流動は発現したものの、連続的かつ強固な冶金的接合を形成するには至らなかった。

### 4. 結言

本研究では圧縮ねじり加工法によりAZ31とA1050の固相接合を試みた。その結果、250℃では接合は成立しなかった。300℃では加工直後に一体化が確認されたが、界面空隙の存在により切断時に剥離した。温度上昇により塑性流動は促進されるが、十分な総ひずみ量および酸化膜除去が重要であることが示唆された。

本研究により、圧縮ねじり加工によるMg/Al異種接合において温度およびひずみ量が支配因子であることが明らかとなった。今後は回転数増加、加工温度の最適化および表面前処理により接合性の向上を検討する。

### REFERENCES

- 1) M. M. Z. Ahmed, M. A. E. Seleman, D. Fydrych and G. Çam, *Journal of Magnesium and Alloys*, **11** (2023) 4082-4127.
- 2) A. A. Shirzadi, C. Zhang, M. Z. Mughal and P. Xia, *Metals*, **12** (2022) 1193.
- 3) Y. Kume, M. Motohashi, M. Kobashi and N. Kanetake, *Journal of the JSTP*, **57-664** (2016) 468-474.

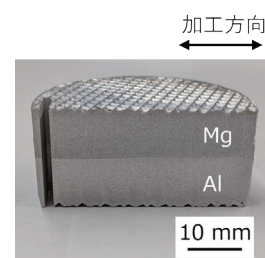


図2 300℃にて圧縮ねじり加工後の試料外観。

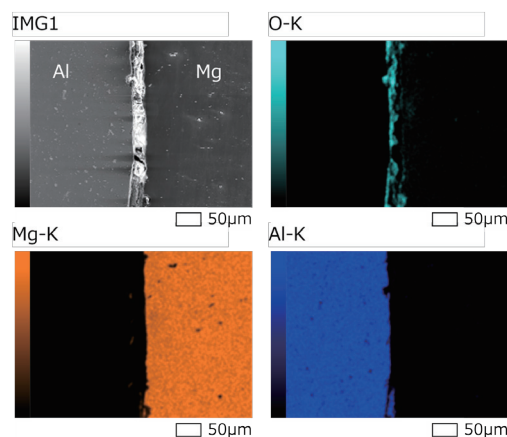


図3 300℃にて圧縮ねじり加工後の試料の接合界面におけるSEM観察結果外観。