

## Mg-Al-Zn 合金/Ti 溶接部の界面反応層に及ぼす合金元素の影響

青沼 昌幸\*<sup>1)</sup> 岩岡 拓\*<sup>1)</sup>

## Effect of Alloying Elements on Reaction Layer at Interface of Mg-Al-Zn Alloy and Titanium Dissimilar Welds

Masayuki Aonuma\*<sup>1)</sup>, Taku Iwaoka\*<sup>1)</sup>

キーワード: Mg-Al-Zn 合金, チタン, 異種金属溶接, 合金元素, 界面反応層

Keywords: Mg-Al-Zn alloy, Titanium, Dissimilar metal welding, Alloying element, Interfacial reaction layer

## 1. はじめに

チタンおよびマグネシウム合金は、高比強度材料として各種構造材に用いられている。これらの異種金属が溶接可能であれば、軽量で高強度な特徴を持つ製品の製作が可能となる。しかし、一般的に異種金属の溶接は困難で、溶接後に剥離や破断を生じる場合が多い。中でもチタンとマグネシウムの組み合わせの場合は、純チタンと純マグネシウムが二相分離して一体化せず、高い接合強度は得られにくい。そこで本研究では、純チタンと、合金元素としてアルミニウムを含む Mg-Al 系合金とを、TIG アーク溶接法により突合せ溶接し、合金元素が接合強度の変化要因となる接合界面組織の形成に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 実験方法

供試材には、99.5 mass%Ti の工業用純チタン圧延材（以下 Ti と表記）と Mg-Al-Zn 系合金の AZ31B 合金押出材（以下 AZ31 と表記）を用いた。表 1 に本研究で用いた AZ31 合金の化学組成を示す。Mg-Al-Zn 系合金は、Mg に Al と Zn を添加することで固溶強化されており、成型性と溶接性にも優れたマグネシウム合金である。そのため構造用合金として実用化されており、さらなる用途の拡大が期待されている。本研究では、代表的なマグネシウム合金である AZ31 を異種金属と溶接し、接合界面の界面反応相に及ぼす Al、Zn および Mn の影響について検討を行った。

供試材は厚さを 2.5 mm とし、機械加工によって接合面を I 型開先となるように切削した後、板表面を SiC 紙により研

磨して厚い酸化被膜を除去し、最後にアセトン脱脂を行ってから実験に供した。Ti と AZ31 は銅製のバックングプレートにパイスを用いて固定し、突合せ継手を作製した。溶接方法は TIG 溶接法とし、φ 2.4 mm の 2 mass%ThO<sub>2</sub> 入タングステン電極を用いて直流逆極性にて溶接を行った。溶接電流は 120~200 A とし、溶接速度を 40~80 cm/min、溶接電圧を 20 V、アルゴンガス流量を 10 l/min とした。継手の作製後、溶接部の断面について、走査型電子顕微鏡(SEM)観察およびエネルギー分散型 X 線分光器(EDS)による元素分析を行い、合金元素の挙動について検討を行った。

## 3. 実験結果および考察

固相接合法による Mg-Al-Zn 系合金と Ti との接合に関するこれまでの研究により、Mg-Al-Zn 系合金母材に含まれる合金元素が接合界面反応相に影響を及ぼすことを報告した<sup>(1)</sup>。Al 量の多い AZ91 合金と Ti との固相接合の場合、AZ91 母材の Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 相が、固相接合を行った際に接合部で分解、拡散し、Al がマトリックスへ再固溶して、接合界面で Al と Ti とが反応相を生成する<sup>(2,3)</sup>。しかし、Mg-Al-Zn-Ca 系合金の AMC602 合金の場合、固相接合での温度領域では、母材に含まれる CaAl<sub>2</sub> などの Ca を含んだ金属間化合物相は分解せず、Al のマトリックスへの固溶も生じない。そのため、もともとマトリックスに固溶している Al が接合界面で Ti と反応相を生成し、金属間化合物はそのまま接合界面に点在する<sup>(4)</sup>。しかし、TIG 溶接法を用いた場合には、アークによる熔融を伴うために、金属間化合物も熔融して接合界面組織に影響を及ぼすことが推測される。そこで、接合前の母材組織の観察を行い、AZ31 母材に含まれる合金元素と金属間化合物が、熔融時に界面組織へ及ぼす影響について検討を行った。

図 2 に本研究で用いた AZ31 母材との SEM 像を示す。一般的に AZ31 では、含まれる Al がマトリックス中に固溶し、α単相の組織となる。しかし、市販の AZ31 では製造工程において Al-Mn 系の金属間化合物相が含まれることがあり、

表 1. AZ31 母材の化学組成 (mass%)

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Mg
AZ31	3.0	0.88	0.58	0.018	0.015	Bal.

\*<sup>1)</sup> 機械技術グループ

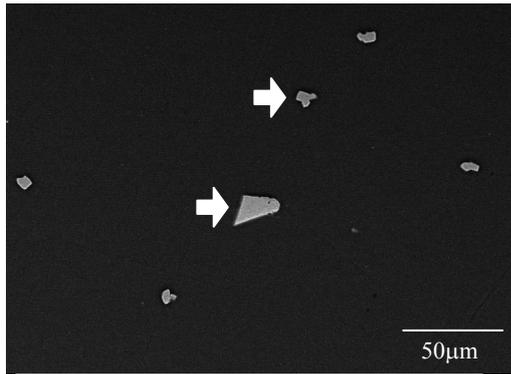


図2. AZ31 母材断面の SEM 像

本研究で用いた AZ31 でも、図 2 中の矢印に示したように、Al-Mn 系の金属間化合物が認められた。本研究で用いた AZ31 には、表 1 に示したように Mn が 0.58 mass% 含まれており、この Mn が製造工程において Al と反応し、Al-Mn 系の金属間化合物を生成したと考えられる。この金属間化合物の直径は最大で約 25 μm であり、AZ31 母材の全体に分布しているのが断面観察から確認された。

この AZ31 と Ti とを、TIG 溶接法により溶接電流 120 A、溶接速度 40 cm/min にて突合せ溶接した接合部断面の SEM 像および特性 X 線像を図 3 に示す。分析は板表面に近い板厚方向上部の接合界面で行った。SEM-EDS による面分析を行った結果、AZ31 と Ti の両方が溶融したとみられる接合界面では、Al および Mn の濃化が層状に認められた。また、AZ31 の溶融部全面に、直径が数 μm 程度の Al-Mn 系の金属間化合物が分散しているのが認められた。AZ31 溶融部に分散した金属間化合物は、AZ31 母材で見られたものと形状が異なり、母材に含まれていたものは図 2 に示したように角を有しているのに対し、溶融部では丸みを帯びているものが多く認められた。このことから、母材に含まれる Al-Mn 系金属間化合物は、TIG アークにより部分的に溶融したか、あるいは全て溶融した後に再び金属間化合物として生成したと推測される。接合界面での Al および Mn の濃化層は、TIG アークによる溶融凝固過程において、Ti との反応によ

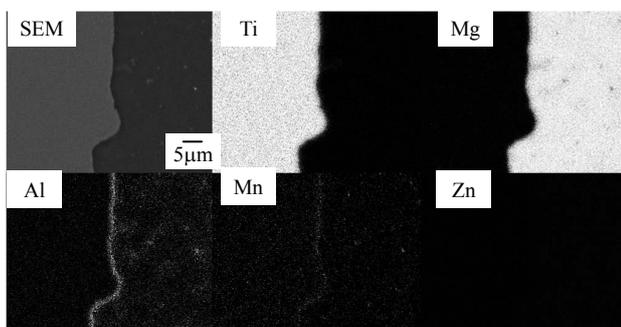


図3. Ti と AZ31 との TIG 溶接部の SEM 像と特性 X 線像；  
溶接電流 120 A、溶接速度 40 cm/min

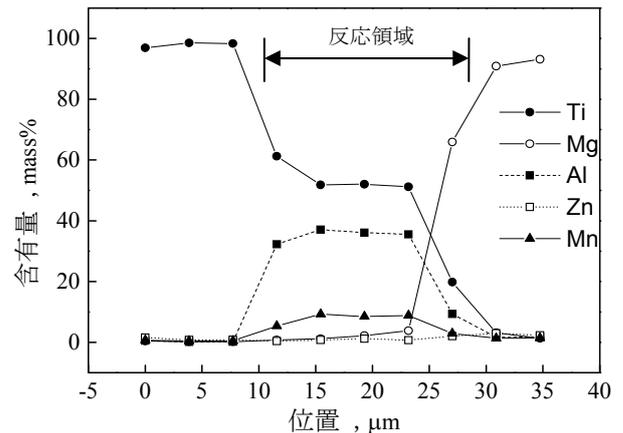


図4. 接合界面の多点定量分析結果；

溶接電流 120 A、溶接速度 40 cm/min

り生成したと考えられ、この層は Ti-Al 系、Ti-Mn 系の金属間化合物、あるいは Ti-Al-Mn の三元系金属間化合物を含むと推測された。これらの接合界面では、部分的に Mn が強く検出される領域が認められたため、この領域について合金元素の定量分析を行い、接合界面における Mn の状態について検討を行った。図 4 に SEM-EDS による接合界面の多点定量分析結果を示す。Mn 量が増加した領域では Al 量も増加し、同時に Ti も検出された。したがってこの位置では Ti-Al-Mn の三元系金属間化合物が生成したと推測される。

これらのことから、TIG 溶接法による AZ31 と Ti との接合界面では、AZ31 に含まれる合金元素の Al および Mn が、Ti と反応して、接合界面組織を形成することが示唆された。

#### 4. まとめ

Ti と Mg-Al-Zn 系合金の AZ31 との、TIG 溶接法による異種金属接合界面では、AZ31 母材に固溶している Al および Al-Mn 系金属間化合物に含まれる Al と Mn とが Ti と反応層を生成することで、接合界面組織を形成することが示唆された。

(平成 23 年 5 月 16 日受付、平成 23 年 8 月 22 日再受付)

#### 文 献

- (1) Masayuki Aonuma and Kazuhiro Nakata: "Effect of Alloying Elements on Interface Microstructure of Mg-Al-Zn Magnesium Alloys and Titanium Joint by Friction Stir Welding", Materials Science and Engineering B, Vol. 161, pp. 46-49 (2009)
- (2) 中田 一博, 居軒 征吾, 長野 喜隆, 橋本 武典, 成願 茂利, 牛尾 誠夫: 「AZ91D マグネシウム合金チクソモールド薄板の摩擦攪拌溶接性」, 軽金属, 51, pp.528-533 (2001)
- (3) 青沼 昌幸, 津村 卓也, 中田 一博: 「チクソモールドした AZ91D マグネシウム合金とチタンとの摩擦攪拌溶接」, 鑄造工学, Vol. 80, No. 4, pp.219-224 (2008)
- (4) Masayuki Aonuma and Kazuhiro Nakata: "Effect of calcium on intermetallic compound layer at interface of calcium added magnesium-aluminum alloy and titanium joint by friction stir welding", Materials Science and Engineering B, Vol. 173, pp. 135-138 (2010)