

## Ti/Mg-Al 系合金継手の接合界面組織と生成機構の検討

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

## Investigation of the Interfacial Microstructure of Dissimilar Ti/Mg-Al Alloy Metal Joints

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

キーワード：Mg-Al 合金，チタン，異種金属接合，界面組織，TIG 溶接

Keywords：Mg-Al alloy, Titanium, Dissimilar metal joining, Interfacial microstructure, TIG welding

## 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。これらの合金が溶接可能であれば、軽量で高強度な特性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く、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、接合がなされない問題がある。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スポット溶接し、主成分が二相分離する合金の溶接における合金元素の影響を中心に、接合部組織の生成機構について検討を行った。

## 2. 実験方法

供試材には、工業用純チタン（以下 Ti）と、AM60 および AMCa602 合金を用いた。表 1 に本研究で用いた供試材の化学組成を示す。AMCa602 は合金元素として Al の他に Ca を含んでおり、高温でのクリープ変形抑制効果を得るとともに、耐燃焼性を持つ耐熱マグネシウム合金として輸送機器などに使用されている合金で、最近溶接についても検討されている<sup>(1)-(3)</sup>。本研究では、AZ 系および AM 系合金に含まれる Al と、AMCa602 に含まれる Ca が接合部組織に及ぼす影響について検討を行った。供試材の厚さはそれぞれ 2mm とし、下側に Ti，上側にマグネシウム合金を配置した後バイスにより固定し、φ2.4mm の 2%ThO<sub>2</sub> 入タングステ

ン電極を用いて、TIG アークスポット溶接により重ね継手を作製した。溶接は直流逆極性にて行い、溶接条件を、溶接電流 100A，アークタイム 10s，アルゴンガス流量 10ℓ/min とした。溶接後、スポット溶接部の中央断面について、光学式顕微鏡観察，走査型電子顕微鏡（SEM）観察およびエネルギー分散型 X 線分光分析器（EDS）による元素分析を行った。

## 3. 実験結果および考察

マグネシウム合金母材およびマグネシウム合金側溶融部の光学顕微鏡像を図 1 (a) ~ (d) に示す。金属間化合物の分布状態を明らかにするために、鏡面研磨後は浅いエッチングを施したのみで観察を行った。図 1 (a) に示した AM60 合金母材では、微細な相の分散が認められた。この相について SEM-EDS による定性分析を行った結果、Al および Mn のピークが強く検出され、この相が AlMn 系化合物であることが確認された。図 1 (b) に示す AM60 合金の溶融部では、マトリックスである α-Mg と、Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 金属間化合物（β相）が認められた。このβ相は、AlMn と母材マトリックス中の Al が、TIG アークでの溶融により Mg 中に過飽和に固溶し、その後、凝固過程において生成したものと考えられる。

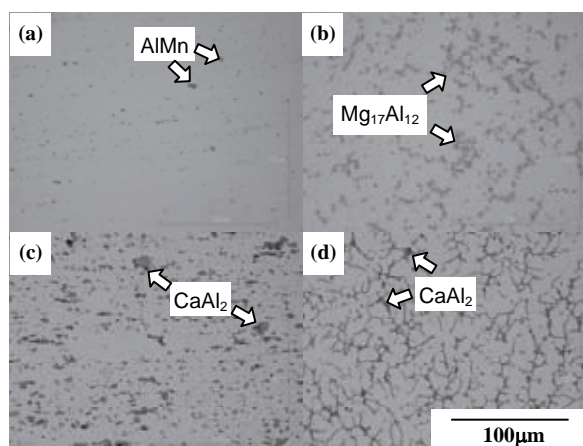


図 1. マグネシウム合金母材および溶融部の光学顕微鏡像；(a) AM60 母材，(b) AM60 溶融部，(c) AMCa602 母材，(d) AMCa602 溶融部

表 1. 供試材の化学組成 (%)

	C	H	O	N	Fe	Ti	
Titanium	0.08	0.013	0.200	0.030	0.250	Bal.	
	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Ca	Mg
AM60	5.9	0.20	0.27	0.006	0.01	-	Bal.
AMCa602	5.9	0.04	0.28	0.003	0.04	2.03	Bal.

\*<sup>1)</sup> 先端加工グループ

本研究で用いた AM60 母材に含まれる Al 量は 5.9%であった。しかし、溶融部では一部の Al が  $Mg_{17}Al_{12}$  として存在するため、 $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量は 5.9% よりも少ないと推測される。AMCa602 母材では、図 1 (c) に示すように  $CaAl_2$  が分布していた。また、図 1 (d) に示すように、溶融部では  $CaAl_2$  が一旦溶融して粒界に再分布しており、AM60 の溶融部で見られた  $Mg_{17}Al_{12}$  は見られなかった。

図 2 に SEM-EDS によるマグネシウム合金母材と溶融部の  $\alpha$ -Mg に含まれる Al の半定量分析結果を示す。本研究で用いた AM60 母材は、ほぼ  $\alpha$ -Mg 単相の組織であり、 $\alpha$ -Mg 中の Al 量は 5.9% であった。しかし、溶融部では  $Mg_{17}Al_{12}$  が存在することより、 $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量が 2.3% と減少しているのが確認された。また、AMCa602 母材の  $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量は 3.2% で、AM60 母材の  $\alpha$ -Mg と比較して少なかった。これは、Ca と Al が  $CaAl_2$  を生成しているためと考えられる。AMCa602 溶融部での  $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量は 1.9% で、母材の  $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量と比較して減少しているのが確認された。

AM60 と AMCa602 では溶融部の組織が異なり、 $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量および生成する金属間化合物も異なるため、このことが接合界面組織に及ぼす影響について検討を行った。図 3 に AM60 と Ti との接合界面の SEM 像および特性 X 線像を示す。接合界面の AM60 側には Al の濃化層が見られ、その層の Ti 側には Ti と Al との反応層が確認された。この接合界面について線分析を行ったところ、Al 濃化層の厚さは一定ではなく、ばらつきが見られた。Al 濃化層の厚さは、観察を行った界面の最も厚い位置で約  $5\mu m$ 、薄い位置で約  $1\mu m$  であった。これらの厚さは、Ti に接触している相が  $Mg_{17}Al_{12}$  か、あるいは  $\alpha$ -Mg かによって変化していると推測される。図 4 に AMCa602 と Ti との接合界面の SEM 像および特性 X 線像を示す。AMCa602 と Ti との接合界面では、Ca を含む Al 濃化層が部分的に検出され、また、この層の Ti 側には Ti と Al との反応層が認められた。AM60 と Ti との接合界面では、 $\alpha$ -Mg 中の Al と Ti、および  $Mg_{17}Al_{12}$  と Ti が接合界面で反応層を生成した。しかし、AMCa602 と Ti との接合界面では、 $\alpha$ -Mg 中の Al と Ti との反応層、ならびに Ca と Al との化合物と Ti との反応層が生成していた。こ

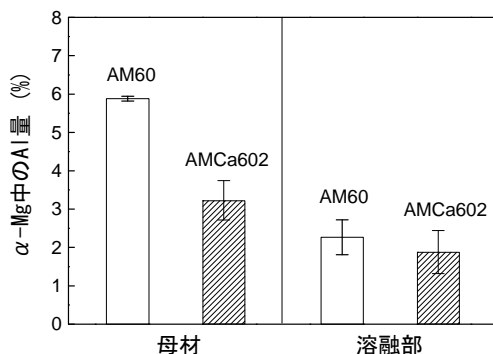


図 2. マグネシウム合金母材と溶融部の  $\alpha$ -Mg に含まれる Al 量

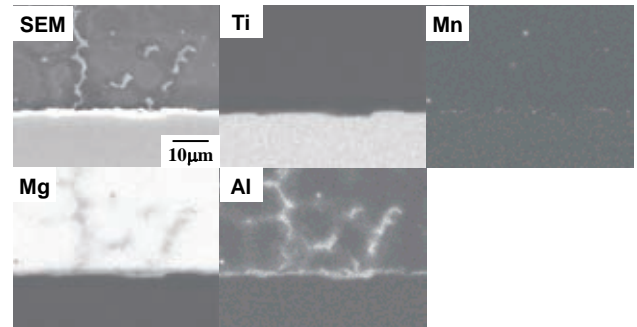


図 3. TIG アークスポット溶接による Ti/AM60 接合界面の SEM 像と特性 X 線像

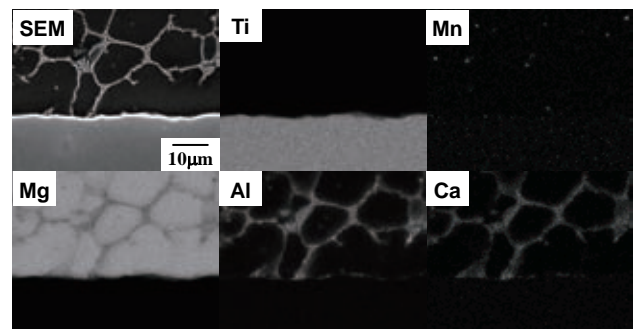


図 4. TIG アークスポット溶接による Ti/AMCa602 接合界面の SEM 像と特性 X 線像

のことから、AMCa602 と Ti との接合界面では、複雑な接合界面組織の生成機構を示すと考えられ、これらの接合界面組織の生成状態が、接合部の機械的性質に影響を及ぼすと推測される。

#### 4. まとめ

同量の Al を含む AM60 および AMCa602 合金と Ti とを TIG アークスポット溶接し、接合界面組織について検討した。AM60 と Ti との接合部では、溶融によって生成した  $Mg_{17}Al_{12}$  相が接合界面での反応層の生成に影響を及ぼすことが判明した。また、AMCa602 と Ti との接合部では、AMCa602 母材に含まれる Ca と Al が溶融し、これらの元素が Ti との反応層を生成することが判明した。

(平成 22 年 7 月 1 日受付, 平成 22 年 8 月 20 日再受付)

#### 文 献

- (1) 坂本満, 秋山茂, 萩尾剛, 大城桂作: 「マグネシウムへのカルシウム添加による酸化被膜特性の変化と溶湯の難燃化」, 铸造工学, Vol.69, No.3, pp. 227-233 (1997)
- (2) Yuji Sakai, Kazuhiro Nakata, Takuya Tsumura, Mitsuji Ueda and Tomoyuki Ueyama, Katsuya Akamatsu: "Fiber Laser Welding of Noncombustible Magnesium Alloy", Materials Science Forum, Vol. 580-582, pp. 479-482 (2008)
- (3) Naotsugu Yamamoto, Jinsun Liao and Kazuhiro Nakata: "Friction Stir Spot Welding and Resistance Spot Welding of Noncombustible Magnesium Alloy", J. Japan Inst. Metals, Vol. 74, No. 5, pp. 307-313 (2010)