

市販高強度マグネシウム合金の異材摩擦攪拌接合性

青沼 昌幸*¹⁾ 岩岡 拓*¹⁾ 寺西 義一*²⁾ 森河 和雄*³⁾

Weldability of commercial high-strength magnesium alloy and dissimilar metals by friction stir welding

Masayuki Aonuma*¹⁾, Taku Iwaoka*¹⁾, Yoshikazu Teranishi*²⁾, Kazuo Morikawa*³⁾

キーワード: 異種金属接合, 摩擦攪拌接合, マグネシウム合金, チタン

Keywords: Dissimilar metal joining, Friction stir welding, Magnesium alloy, Titanium

1. はじめに

摩擦攪拌接合法(FSW)は、接合部材の突合せ面に接合ツールを挿入、並進させて接合を行うため、板材同士の突合せ接合が可能であることが特徴である。また、熔融と凝固を伴わない固相接合法であることから、これまで溶接では困難とされていた異種金属材料の接合への適用が検討されている。マグネシウム合金とチタンのように、主成分が溶融状態で二相分離する異種金属の摩擦攪拌接合においては、母材に含まれる合金元素量が接合界面組織の形成に影響を及ぼし、接合界面の組織形態が変化することで、接合強さに影響を与えることが考えられる⁽¹⁾。本研究では、工業用純チタンと市販高比強度マグネシウム合金の ZK60 合金とを摩擦攪拌接合し、母材組成が異種金属接合界面組織の形成と、接合部の引張強さに及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 接合方法 本研究では ZK60 マグネシウム合金(以下 ZK60 と表記)と、工業用純チタン TP340(以下 CP-Ti と表記)との摩擦攪拌接合を行った。表 1 に供試材の化学組成を示す。供試材は、幅 50 mm、長さ 150 mm、板厚 2 mm とし、開先面をフライスにより平滑に加工した後、接合前にアセトン脱脂を行って実験に供した。板材は接合ツールの回転方向と接合方向が一致する側(前進側, AS)に CP-Ti を配置し、その反対側(後退側, RS)に ZK60 を配置した。

攪拌位置は突合せ面の中心ではなく、プローブを ZK60 側に挿入し、プローブの外周部が CP-Ti の突合せ面において 1.0 及び 1.5 mm 切削するように、主に ZK60 を攪拌した⁽²⁾⁽³⁾。本研究では、このプローブの挿入量を、プローブ位置として示した。接合にはショルダ径 15 mm、プローブ径 6 mm、プローブ長 1.9 mm の M ネジ付の接合ツールを用い、荷重制御式の摩擦攪拌接合装置により接合を行った。接合条件は

予備実験の結果から、ツール回転数 850 rpm、ツール荷重 7.8 kN とし、接合速度を 50 及び 100 mm/min とした。また、比較用として 99.5%の純マグネシウムと CP-Ti とを接合し、ZK60 と CP-Ti との接合界面組織形態及び接合強度との比較検討を行った。

2.2 接合部の解析方法 接合後、接合界面の断面について、光学顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡(SEM)及びエネルギー分散型 X 線分光分析器(EDS)により、接合界面全体での元素の分布について検討を行った。また、静的強度試験として、接合部を幅 10 mm に切断した短冊状の引張試験片を作製し、クロスヘッドスピード 2 mm/min の条件で引張試験を行った。これらのことにより、接合界面反応層の生成状態と接合界面組織形態が接合強度に及ぼす影響について検討を行った。

表 1. 供試材の化学組成 (mass %)

	C	H	O	N	Fe	Ti
CP-Ti	0.003	0.0022	0.079	0.004	0.070	Bal.
		Zn	Zr		Mg	
ZK60		5.5	0.57		Bal.	

3. 実験結果及び考察

図 1(a)に、プローブ位置 1.5 mm、接合速度 50 mm/min での CP-Ti と ZK60 との接合部の断面マクロ組織を示す。板上部において、CP-Ti は塑性変形しており、ZK60 の攪拌部では、エッチングにより図 1(a)中に矢印で示した灰色に見える領域が確認された。この領域では CP-Ti 片が分散しており、この CP-Ti 片はプローブによる CP-Ti の切削と攪拌により分布したと考えられる。図 1(b)及び(c)に、図 1(a)に示した接合部の、ZK60 攪拌部のミクロ組織を示す。ZK60 の攪拌部の結晶粒は、動的再結晶により ZK60 母材の結晶粒と比較して微細化し、結晶粒径は 20µm 以下となった。図 1(b)

事業名 平成 23 年度 基盤研究

*¹⁾ 機械技術グループ*²⁾ 表面技術グループ*³⁾ 高度分析開発セクター

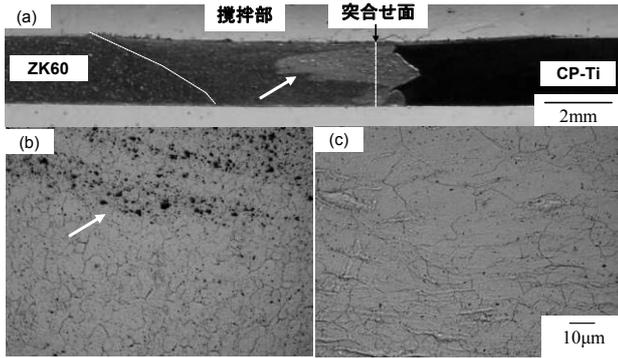


図1. CP-Ti と ZK60 との摩擦攪拌接合部断面の光学顕微鏡組織 (接合速度 50 mm/min, プローブ位置 1.5 mm)
(a)マクロ組織, (b)ZK60 側攪拌部, (c)ZK60 母材

に矢印で示した黒い粒は、プローブにより切削されて分散分布した CP-Ti 片であり、これらの CP-Ti 片の近傍では特に結晶粒の微細化が顕著に認められた。

図2に CP-Ti と ZK60 との接合界面の SEM 像及び特性 X 線像を示す。CP-Ti と ZK60 との接合界面では、ZK60 に含まれる Zn 及び Zr が層状に検出された。また、これらの層は、板上部の接合界面で明瞭に認められており、接合部ではショルダの摩擦により板上部での温度が上昇し、Zn 及び Zr による反応層の生成が、板下部と比較して促進されたことが要因と考えられる。また、同様の分析を CP-Ti と純マグネシウムとの接合界面について行った結果、接合界面に明瞭な反応層は認められず、これらのことから、純マグネシウムが CP-Ti に対して凝着することにより、接合がなされていることが推測された。

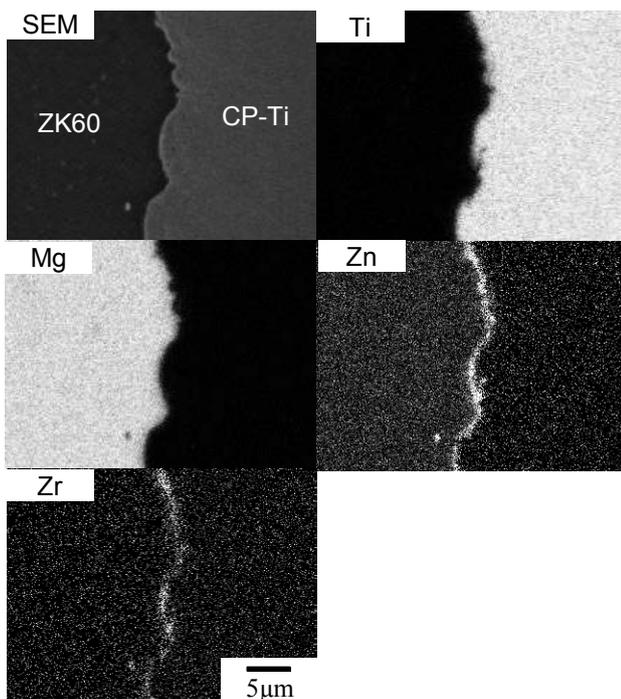


図2. CP-Ti と ZK60 との摩擦攪拌接合部断面の SEM 像と特性 X 線像 (接合速度 50 mm/min, プローブ位置 1.5 mm)

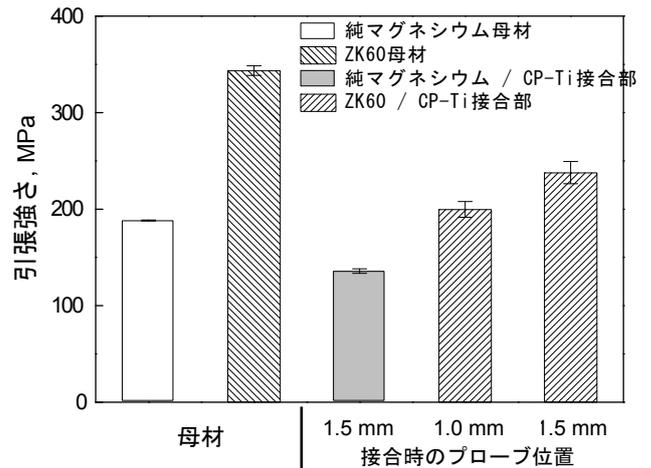


図3. 純マグネシウム、ZK60 母材及び CP-Ti との摩擦攪拌接合部の引張強さ (接合速度 50 mm/min)

図3に、CP-Ti と ZK60 との摩擦攪拌接合部の引張強さを示す。比較のために、ZK60 母材、純マグネシウム母材、及び CP-Ti と純マグネシウムの接合部の引張強さについても、あわせて示した。プローブ位置を 1.5 mm とし、接合速度を 50 mm/min とした接合部の引張強さは、CP-Ti と純マグネシウムとの接合部が 135 MPa であったのに対し、CP-Ti と ZK60 では 237 MPa であった。また、ZK60 母材に対する CP-Ti と ZK60 との接合部の継手効率は 69% であった。引張試験において、CP-Ti と純マグネシウムとの接合部は凝着界面での破断となり、CP-Ti と ZK60 との接合部は、Zn と Zr が強く検出された合金元素反応層を通過しての破断となった。

4. まとめ

市販高強度マグネシウム合金の ZK60 と CP-Ti との摩擦攪拌接合法による接合施工は可能であり、純マグネシウムを用いた場合の接合界面とは異なる組織形態により接合がなされることが示された。また、これらの組織形態は、接合部の引張強さに影響を及ぼすことが示唆された。

本研究は大阪大学接合科学研究所共同研究プログラムの利用により行った。

(平成 24 年 5 月 18 日受付, 平成 24 年 7 月 4 日再受付)

文 献

- (1)Max Hansen: "Constitution of binary alloys" McGraw-Hill Book Company Inc. (1958).
- (2)福本昌宏, 椿正己, 下田陽一朗, 安井利明: 「摩擦攪拌作用による ADC12/SS400 材料間の接合」, 溶接学会論文集, Vol. 22, No.2 pp. 309-314 (2004)
- (3)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 & Engineering B, Vol.161, No.1 pp.46-49 (2009).