

# 純マグネシウムのレーザー溶接条件の検討

谷田 幸宏\*

## 【要 旨】

YAG レーザによる純マグネシウム板同士の突き合わせ溶接後、引張試験を行い、試料破面の観察・分析を行った。その結果、レーザーが試料中央部まで到達しておらず、レーザー到達部ではピンホールが観測された。このピンホールは、レーザーでマグネシウムの蒸発が影響した結果により発生したもので、溶接時に純マグネシウムに残留している熱量がピンホールのサイズに影響を及ぼす可能性を示した。

## 1 はじめに

骨折した際の治療方法として、骨接合用の生体インプラントが用いられ、その材質としてステンレスやチタンを中心に、その合金がしばしば使われている。ステンレスやチタンのインプラントを使用した場合、治癒した後にインプラントの抜去が必要で、患者への肉体的及び精神的な負担となることから、負担を軽減する代替手段が求められている。代替手段としては骨折部を一定期間固定した後、体内で徐々に溶解・吸収されていくインプラントが望ましいとされている。

純マグネシウムはその強度と弾性係数が骨に近いと、生体への適合性が良く、また、生体毒性がないことから生体吸収性インプラントとして有望視されている。

当センターでは生体内で適用可能な純マグネシウムインプラントの研究開発支援を実施しており、先般、生体内で適用可能な目処がついたところである。今後、生体内の複雑な構造に対応して製品設計していくためには、純マグネシウムの接合について検討が必要となる。

そこで、本研究では純マグネシウムを接合する手法として、集光することで微細部の加工が可能なYAG レーザによる溶接を選択した。純マグネ

シウムのYAG レーザ溶接について検討された事例はこれまでにあまり無く、マグネシウム合金で検討されているケースがほとんどである。<sup>1~3)</sup>

純マグネシウムへYAG レーザ溶接を行った場合、溶融した直後に試料が蒸発して削れるため、溶融状態を作ることが困難である。<sup>4)</sup>本研究では純マグネシウムの溶接棒を使用し、肉を盛りながら溶接することで、純マグネシウム同士が接合し得るのかを検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材

供試材は、板厚 1.5 mm の純マグネシウム（大阪富士工業(株)）を長さ 25 mm、幅 8 mm に機械加工し、実験に供した。その化学組成を表1に示す。供試材は溶接作業前にアセトンにより脱脂し、溶接作業を行った。

表1 純マグネシウムの組成 (mass%)

Mn	Fe	Zn	Ni	Mg
0.0225	0.0155	0.0117	0.0079	Bal.

### 2.2 YAG レーザによる突き合わせ溶接

YAG レーザ溶接機で図1の位置関係により溶接を行い、片面終了後にもう片面の溶接を行った。

\* 企画連携課 主任

溶接時に純マグネシウムが酸化することを防ぐため、シールドガスとしてアルゴンを用いた。

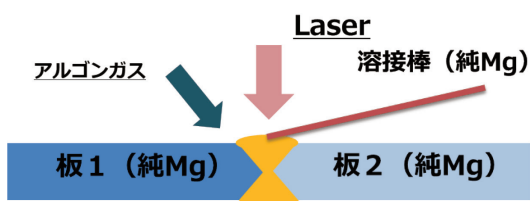


図1 レーザ溶接時の位置関係

### 2. 3 X線CTによる透視画像再構成

YAG レーザ溶接で純マグネシウムを接合した際のボイドの発生状況を確認するため、マイクロフォーカス X 線 CT (東芝製 TOSCANER-32300  $\mu$ FD) による透視観察を行った。測定は、管電圧 121 kV、管電流 77  $\mu$ A、分解能 12.3  $\mu$ m の条件のもと行った。

### 2. 4 溶接部の組織観察

YAG レーザの純マグネシウムへの影響を確認するため、レーザ溶接部の組織観察を倒立型金属顕微鏡 (オリンパス製 GX51) により行った。

組織観察は、エメリー紙 2000 番まで研磨後、ダイヤモンドペーストによりバフ仕上げを行い、ナイトール溶液により腐食した。

### 2. 5 破面観察及び元素分析

レーザ溶接後の試料に対して引張試験 (インストロンジャパンカンパニーリミテッド製 1122 型) を 3 mm/min で行い、破壊後の破面観察及び元素分析を分析型走査電子顕微鏡 (日本電子(株)製 JSM-7100F) により行った。

## 3 結果及び考察

### 3. 1 YAG レーザによる突き合わせ溶接結果

レーザによる突合せ溶接後の外観を図2に示す。図2内の破線は観察部を示しており、以降に示す

データは観察部における結果となる。

目視で観察すると、溶接部表面はマグネシウムが酸化し、凹凸が生じている状況であった。表面を研磨すると、銀白色の表面が露出したので、酸化は主に表面でのみ発生していることが分かった。

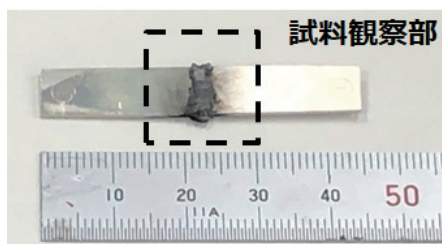


図2 突き合わせ溶接結果

### 3. 2 X線CTによる透視画像の再構成

マイクロフォーカス X 線 CT により再構成した結果を図3に示す。図内部の着色部は試料内部に含まれるボイド (欠陥) を解析し、ボイドサイズ毎に示したもので、溶接部付近にボイドを多く含んでいることを示している。

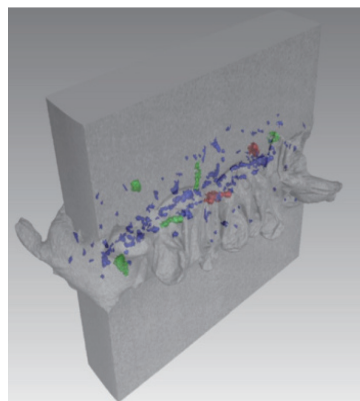


図3 X線CTによる再構成画像

### 3. 3 レーザ溶接部の組織観察

レーザ溶接前後の組織観察結果を図4に示す。レーザ溶接前後で照射部における結晶の構造及び粒度が変化していることが確認できた。しかしながら、鋼材にレーザ照射した時に発生するような結晶粒の微細化現象を確認することはできなかった。これは、純マグネ

シウムがマグネシウム以外の成分をほとんど含んでおらず、変態による状態変化が発生しなかったためと考えられる。

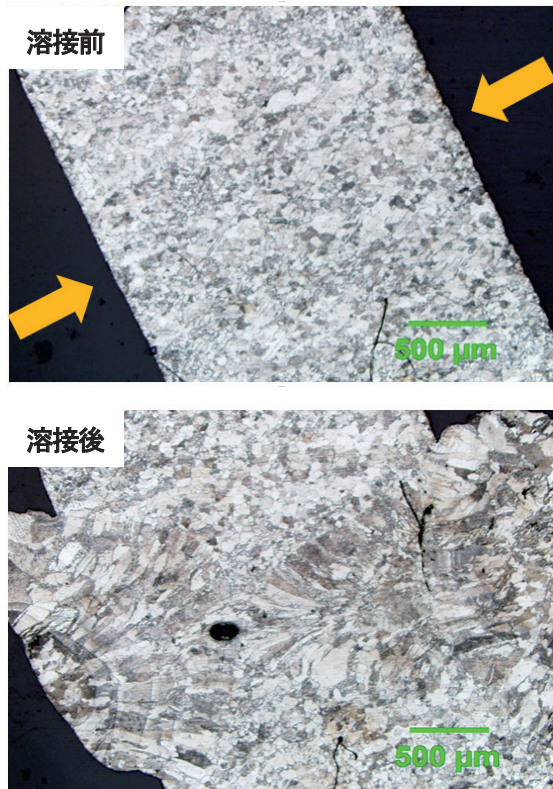


図4 レーザ溶接部の組織写真

### 3. 4 引張後の破面の観察及び成分分析

溶接後の試料を引張試験した後に破面の観察及び成分分析 (SEM-EDS) した結果を図5に示す。破面中央部にはレーザーが当たっておらず、変質していないことが確認できた。また、レーザーにより変質している部分と変質していない部分の界面にはピンホールと思われる部分が界面に沿って複数個確認できた。このことから、界面部分でマグネシウムが蒸発し、蒸発痕がピンホールになったと推察される。

また、試料中央部にレーザーが到達していないことから、出力パラメータが適切ではないことが考えられ、レーザー出力のパラメータを変更した場合におけるレーザー到達距離について整理していく

ことが必要である。

次に、破面内部の成分分析では、酸素はほとんど検出されず、他成分も検出されなかった。このことは、レーザー溶接中のアルゴンガスによるシールドが試料の酸化を防ぐ手段として有効であることを示している。

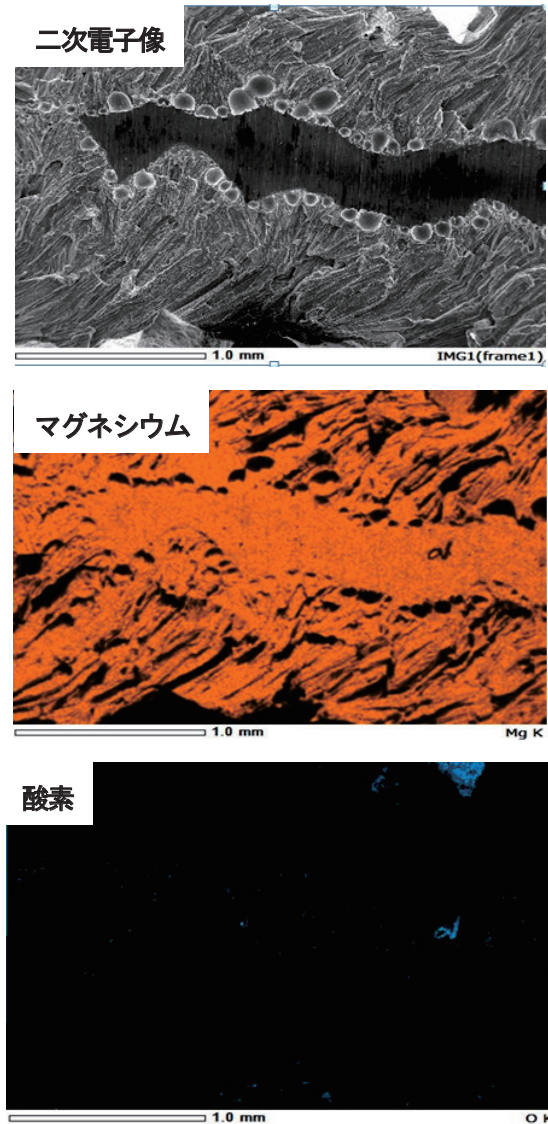


図5 破面の観察及び成分分析

### 3. 5 YAGレーザーが試料へ及ぼす影響

試料の破面を反射電子像で観察した結果を図6に示す。反射電子を検出することで、試料の凹凸が判別しやすくなり、図5で示したピンホール部分は穴となっていることが改めて確認できる。



また、試料の上部と下部ではピンホールが大きさが異なっていることから、溶接する際試料に残留している熱がピンホール大きさに影響を及ぼす可能性を示唆している。このことは、マグネシウムの熱伝導率がYAGレーザー溶接後の状態に影響を及ぼす可能性を示している。

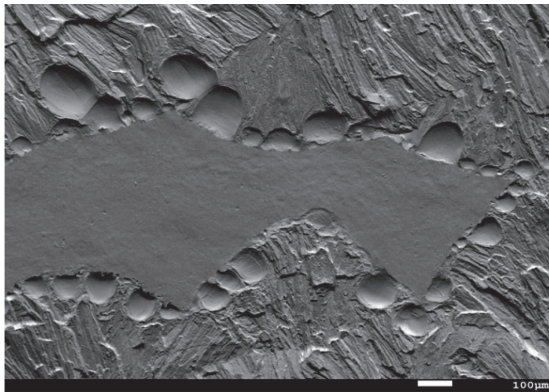


図6 破面の反射電子像

#### 4 まとめ

本研究では、純マグネシウムの板材を作成し、突き合わせYAGレーザー溶接を実施し、YAGレーザーが純マグネシウムの接合に及ぼす影響について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- ① YAGレーザーにより表面は酸化し、内部ではレーザーが接合部中央まで到達していない現象が確認できた。レーザー出力を検討することで、溶接状態の改善が見込まれる。

- ② YAGレーザーにより変質した部分と変質していない部分の界面ではピンホールが発生しており、ピンホール大きさは試料に残留する熱量が影響している可能性が示された。

#### 5 謝辞

本研究の実施にあたり、溶接用試料を準備いただいた日東精工(株)の村田知明氏、純マグネシウムのYAGレーザー溶接を実施していただいた(有)クオリスの篠崎有紀氏に感謝申し上げます。

#### (参考文献)

- 1) S Sergey et. al, Proc of SPIE, “Micro-structure and properties of bulk magnesium fabricated by direct laser deposition”, 2019, 11024, 1102412-7
- 2) Ouallam Seddik et al, International journal of engineering and research in Africa, “Microstructure and Mechanical Characterization of the Yb:YAG laser welding of high-pressure diecasting Mg-Al-Mn Magnesium alloy”, 2020, 51, 95-109
- 3) マグネシウム技術便覧, 日本マグネシウム協会編, 2000
- 4) 宮本 勇ら, 溶接学会論文集, “レーザー溶接における蒸発特性”, 1995, 第13巻4号, 544-549