マグネシウム合金薄板のレーザ溶接におけるレーザ波長と シールドガスの影響*

平賀 仁**, 井上 尚志**, 鎌土 重晴***, 小島 陽***

Effect of Shielding Gas and Laser Wavelength in Laser Welding of Magnesium Alloy Sheet*

by HIRAGA Hitoshi**, INOUE Takashi**, KAMADO Shigeharu*** and KOJIMA Yo***

Utilization of magnesium alloy has increased in recent years as structural metals, such as automotive industry and mobile information tools. Hence welding techniques are required to be developed for these applications. Lasers are known to be an excellent tool for them. This paper presents the laser weldability of wrought type of AZ31 magnesium alloy with high power continuous wave (cw) Nd: YAG and CO₂ lasers. The effects of center and back shielding conditions were examined. In the case of CO₂ laser welding without back shielding, backside of the bead formed groove resulted from the reaction of the laser-induced plasma and low surface tension of the magnesium. In the case of Nd: YAG laser without back shielding, a welded bead was significantly better than that with CO₂ laser. Because the metal vapor did not change to plasma plume due to the short wave length, it played the role of shielding the backside of the bead. From the tensile tests of the butt joints fabricated with CO₂ and Nd: YAG laser, tensile strength of the joints which were made with Nd: YAG laser in both case with and without back shielding was sufficiently high.

Key Words: Magnesium alloy, CO₂ laser welding, YAG laser welding, Laser induced Plasma.

1. 緒 言

近年、マグネシウム合金の民生品への適用が注目されている。マグネシウム合金は、アルミニウムの67%、鋼の23%と非常に軽量であり、また、比強度、比剛性が高く構造用として筐体などに適している。そのため、ノート型パソコンに代表される携帯型情報端末や、自動車部品等への適用が急速に検討されている。また、非常に優れた機械的振動減衰特性も有しており、その応用研究も進んでいる。

現在、マグネシウム合金の溶接に関する研究例や実施例は多いとは言えないが、今後大構造化や複雑形状化が進むと溶接法を積極的にとり入れた製造法も進むと考えられる。特に、近年自動車部材へダイカスト材の利用が検討されており、大型構造物では製造装置も大型化することから、数個に分けた部材を溶接によって組立てることが検討されている¹⁾。そこで熱影響層が小さく、また、自動化の面で優れている、レーザ溶接法の適用が有利と考えられる。

Weisheit らは、CO₂ レーザを用いて各種展伸材、ダイカスト材の溶接特性を材料学的見地から詳しく調べている²⁾。それによれば、シールド条件を適正化することで、展

伸材の溶接は亀裂や熱影響層の少ない良好なビードが得られるとしている。しかし高圧ダイカスト法によって製造した AZ91, AM60 の溶接では、ダイカスト中にトラップされたガスの再放出によって、非常に多くのポロシティを形成することも報告している。ダイカスト材の溶接特性では、Marya らも Nd: YAG レーザを用いて研究しており、ポロシティは水素の固液間の固溶限差によって生じ、溶接速度やビーム径を選ぶことで低減できると述べている。しかしポロシティを完全に無くすことは困難であるという問題を指摘している³⁾。一方 Haferkamp らは連続波 (CW) Nd: YAG レーザを用いて展伸材の AZ31 を溶接し、深絞り加工特性も調べている。その結果、溶接部の引張歪みが母材の 1/3 程度に低下するものの、絞り加工を熱間で行うことで、十分な深絞り特性を得られることを示した^{4,5)}。また、Sanders らは展伸材の AZ31B を用いてパルス Nd: YAG レーザと CW CO₂ レーザの溶接特性を比較し、CO₂ レーザの方が良好なビードを形成するためにパワー密度や溶接速度、溶接面仕上げ等の溶接条件が厳しいことを指摘している⁶⁾。

これらの研究例から、ダイカスト材の溶接では、製造条件に起因した溶接欠陥の存在は避けることは困難であるが、展伸材では、溶接条件を適正化することで良好な溶接が可能と考えられる。レーザの種類によって溶接条件、特にシールドガスの影響が大きいことも指摘できる。例えば CO₂ レーザを使った溶接では^{2,6)}、シールドガスには He が適していると記述されているが、その理由については詳し

*原稿受付 平成12年11月29日 平成12年度秋季全国大会で発表

**正 員 ㈱レーザ応用工学研究所 Member, Applied Laser Engineering Research Institute

*** 長岡技術科学大学 Nagaoka University of Technology

く調べられていない。一方 Nd:YAG レーザを用いた研究では³⁻⁶⁾、He ではなく Ar をシールドガスに用いて健全な溶接ビードを得ているが、同様に具体的な理由については述べられていない。また、マグネシウム合金は酸化しやすいとの考えから、センターガスだけでなくバックシールドやアフターシールドも使用しているが、これらの必要性についても詳しく検討した報告は少ない。

本研究では、レーザの違いによる溶接条件の差を明らかにすることを目的に、展伸材の AZ31 を用いて、マグネシウム合金の溶接特性に及ぼすレーザ波長やシールド条件の影響を調べ、適正な溶接条件の検討を行った。レーザには連続波 CO₂ レーザおよび連続波 Nd:YAG レーザを用いた。また各種シールド条件による溶接ビードの形成や、突合せ継手の引張強度および組織を調べ、適正なシールド条件の選定およびそのメカニズムを検討した。

2. 実験方法

試験には厚さ 1.7 mm の展伸材、AZ31B-H24 (3 wt% Al, 1 wt% Zn) を使用した。シート材から 50 mm × 100 mm の短冊状になるようにバンドソーで切り出した後、端面は突合せ実験用に研削仕上げを行った。被溶接面は、溶接実験の直前にステンレス鋼製のワイヤーブラシを用いて表面の酸化膜を除去し、アセトンで十分に洗浄した。

本研究では最大出力が 5.5 kW の三軸直交型連続波 CO₂

レーザ (三菱電機㈱製, ML6050C-L) と、6 kW の MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 式連続波 Nd:YAG レーザ (日本電気㈱製, M707-10A) を用いた。CO₂ レーザビームは、ミラーによる固定光学系によって伝送され、軸外し放物面鏡によって集光される。また、Nd:YAG レーザビームはコア径 600 μ m の光ファイバーによって伝送され、石英製のレンズによって集光される。Table 1 にそれぞれの光学系仕様および実験条件を示す。ビーム径は、どちらのレーザも市販のビーム形状測定機 (Prometic UFF100) によって測定し、その最小となる位置を焦点として、最小値をスポット径とした。ここで両者の焦点距離は異なるが、拡がり角などのビームの品質によって相殺されるために、集光ビーム径は 10% の違いであった。即ち同じ

Table 1 Experimental conditions.

	CW CO ₂ laser	CW YAG laser
Focusing media	parabolic mirror	quartz lens
Focal length (mm)	254	186
Spot diameter (μ m)*	530	600
Laser power (kW)	2	2
Welding speed (mm/s)	50	50
Focus position (mm)	± 0	± 0

Spot diameter: measured at focal point.

Fig. 1 Schematic illustration of laser welding.
(a) Shielding unit.
(b) High speed camera observation.

出力ではパワー密度の差は約20%程度であり十分小さいことが分かる。したがって本研究では、CO₂ レーザ溶接と YAG レーザ溶接を、加工点上のパワーおよびパワー密度を同程度にして実験評価することが可能と考えられ、レーザ波長の影響を取り出して評価することが可能である。また、出力および速度は供試材を十分貫通溶接できる条件とした。Fig. 1 (a)には加工系およびシールドガス系の模式図を示す。CO₂ レーザおよび Nd:YAG レーザはどちらもレーザビームに対して同軸のノズルを用いた。ノズル径は $\phi 6$ mm とした。溶接治具のビード裏面には 10 mm $\times$ 6 mm の溝を作り、バックシールドを行えるようにした。また、センターガスノズルの周囲および後方に 長さ 110 mm $\times$ 幅 55 mm のボックス構造のアフターシールドが行えるようにした。溶接試験としてビード形成の評価はビードオンプレート試験で行い、引張強度は、突合せ継手を作製して求めた。

Table 2 Shielding conditions.

	Center gas	Back shielding	Shielding box
(a)	He	Ar	Ar
(b)	Ar	Ar	Ar
(c)	He	Ar	×
(d)	Ar	Ar	×
(e)	Ar	×	×
Shielding gas flow rate center gas : 5×10^{-4} m ³ /s, back shielding : 8×10^{-5} m ³ /s, shielding box : 5×10^{-4} m ³ /s			

Fig. 1 (b)に、高速ビデオを用いた観察光学系を示す。撮影には 2000 frame/s の カラー高速ビデオ (株) NAC 製 MEMRECAM Cii) を用いた。撮影位置の照明には、照明位置の出力が約 5 W となるように調整した、マルチライン Ar レーザを使用した。高速ビデオの観察レンズには Ar レーザのマルチライン波長 488 ~ 514.5 nm を透過するバンドパスフィルター (BPF: 薄膜干渉フィルター) を用いて、輝度の高いプラズマ光の影響を十分に抑えるようにした。また、表面からだけではなく、裏面の状態も観察した。ただし裏面の観察にはバックシールドがない場合のみとした。

シールド条件を Table 2 に示す。センターガスシールドの流量は、それぞれのガスにおいて、 5×10^{-4} m³/s、バックシールドは 8×10^{-5} m³/s とした。また、引張強度試験ではシールドボックスの効果も調べ、ガス種を Ar、流量を 5×10^{-4} m³/s とした。

試験後、表裏面のビード形状の観察やレーザ顕微鏡による断面評価および EPMA によるビードおよび付着した微粒子の調査を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 各種シールド化での CO₂ レーザおよび Nd:YAG レーザ溶接特性

シールド条件を変えて CO₂ レーザおよび Nd:YAG レーザでビードオンプレート試験を行い、表裏面形状およびビード断面形状を評価した。Fig. 2 に実験結果を示す。CO₂ レーザを用いた溶接では、センターガスシールドに

Fig. 2 Effect of shielding conditions on welding beads by CO₂ and YAG laser.
Laser power: 2 kW, welding speed: 50 mm/s.

He, バックシールドに Ar を用いると (Fig. 2 (a)), 表裏面とも金属光沢およびリップルパターンが観察され, また, 断面も若干アンダーカットが見られる程度で正常に溶接できた. ここで, センターガスを Ar に置き換えると (Fig. 2 (b)), ビード表面には金属光沢とリップルパターンが消えて黒化し, ビード中心線には溝状の筋が部分的に確認された. また, 断面写真からは, 表面のビード幅が広がり, 中心部が若干窪んでいるのが分かる. さらにバックシールドを使用しないと (Fig. 2 (c)), ビードが荒れて, 特に裏面側に深い溝ができていることが分かる. 断面写真によれば, この溝の深さは板厚に対して 1/3 程度とかなり大きい. また Fig. 2 (c)と同じシールド条件で, Nd : YAG レーザによる溶接試験を行った結果では (Fig. 2 (d)), 表裏面では微粒子の付着により金属面の露出は少ないがリップルパターンが確認でき, また, 断面写真からも Fig. 2 (a)とほぼ同等に, 良好なビードを形成していることが分かった. ここで Nd : YAG レーザによる溶接では, バックシールドの利用やセンターガスを He に変えても, 表裏面および断面形状のどちらも大きな変化が見られずに, 良好な溶接特性を示した. このように使用したレーザ種類が異なることで, シールドガスの選択による溶接ビードの形成が大きく異なることが分かった. 一般にレーザ溶接における波長の影響としては, 基材表面でのレーザ光の吸収と, プラズマによるレーザ光の吸収損失があると考えられる. 基材表面でのレーザ光の吸収は, 一般に金属の場合は波長が短いほど大きいといわれている. しかしシールドガスに He を用いることで,

プラズマによる吸収の影響が少ない条件下で溶接しても, 本研究で用いた試料では CO₂ レーザ溶接と YAG レーザ溶接とでの溶込み深さの差が少なかった. この結果からレーザ波長の違いによる吸収の影響は少ないと推察できる. また, プラズマによる影響として考えられるのは, 逆

Fig. 3 Shape of the CO₂ laser weld bead without back shielding.
CO₂ laser, laser power : 2 kW, welding speed : 50 mm/s.
Center gas : Ar, without back shielding.

Fig. 4 High speed video observation of plasma plume formation with CO₂ laser welding.
Laser power : 2 kW, welding speed : 50 mm/s.
(a) Center gas : Ar without back shielding, top view.
(b) Center gas Ar, without back shielding, bottom view.
(c) Center gas He, without back shielding, top view.

制動放射によって吸収されることによる実効レーザ出力の低下である。逆制動放射による電磁波の吸収係数は、 $N_e \cdot N_i \cdot \omega^{-2} \cdot T^{-3/2}$ に比例する (N_e : 電子密度, N_i : イオン密度, ω : 入射電磁波の各周波数, T : 温度)。Nd:YAG レーザ ($\lambda: 1.06 \mu\text{m}$) と比べて CO_2 レーザ ($\lambda: 10.6 \mu\text{m}$) は 1 桁周波数が低いために、2 桁程度吸収が大きくなる。したがって CO_2 レーザによる溶接では、金属蒸気やシールドガスのプラズマに吸収されやすい。しかし、ビードの形状が単純に吸収による実効入力低下によるものとは考えにくいので、詳しく調査した。

Fig. 3 に CO_2 レーザでバックシールドを行わない条件での、縦断面およびビード裏面の SEM 観察結果を示す。Fig. 2(c) の横断面で見られた窪みは、Fig. 3(a) によれば、板厚よりも薄くなる位置は、ビード全体にあるわけではなく、不定の周期で存在していることが分かる。また裏面を SEM で観察した結果からは、比較的鋭い破面も見られる。Fig. 4 に CO_2 レーザにおける各種シールド条件で、プラズマブルームを高速ビデオで観察した結果を示す。すべての観察で、バンドパスフィルター (透過波長: $488 \sim 514.5 \text{ nm}$, 以下同様) を取り付けて撮影した。なお、それぞれ一枚目の写真にプラズマブルーム等の境界部分の概略を線で囲った。Ar シールドの場合には (Fig. 4(a)), 表面側からの観察ではバンドパスフィルターを付けていても、レーザ照射部近傍で、輝度が高いプラズマの発光が確認できた。ステンレス鋼を用いた観察結果を基に判断すると⁷⁾、これはレーザ照射部の、上方に伸びる安定したシールドガスの Ar

プラズマと、その側方で方向を変えながら激しく吹き出す、不安定な金属プラズマであると考えられる。一方裏面からの観察では (Fig. 4(b)), シールドガスをうけないと、周期的に大きさと方向の変化するプラズマがビードの先端部分から吹き出していた。また、断面で見られたようにビードに溝があり、その溝の深さに対応して、プラズマが後方に吹き出しているのが確認できた。この裏面のプラズマはセンターガスを He ガスとした場合でも発生し、シールドガスの存在にかかわらず発生していることから、Mg の金属プラズマと考えられる。これら表裏面のプラズマは、同条件でオーステナイト系ステンレス鋼 (以下 SUS304) を溶接した際に発生した、Fe の金属プラズマよりも輝度が高かった。また、同じ板厚の SUS304 や軟鋼の溶接では、裏面には、プラズマの発生は確認できなかった。これは Fe と比べて Mg は沸点が低く、蒸気圧も高いために、容易にガス化しやすく、さらにイオン化ポテンシャルも Fe と同程度であるため、容易にプラズマ化したものと考えられる。センターガスを He にした場合には (Fig. 4(c)), 表面からの観察において、ビードの先端近傍で、周期的に形状が変化する発光が確認できた。この発光はセンターガスシールドが、Ar の場合と比較して、非常に小さいことが分かる。He は Ar と比較して、プラズマ化しきい値が高いため、シールドガスはほとんどプラズマ化せず、さらに熱伝導率が低いために、金属プラズマも小さかったものと考えられる。

Fig. 5 に、Nd:YAG レーザにおける、各種シールド条件および観察条件での、表裏面の状態を示す。Fig. 5(a) にセン

Fig. 5 High-speed video observation of plasma plume formation with YAG laser welding. Laser power: 2 kW, welding speed: 50 mm/s.

- (a) Center gas Ar, without back shielding, top view, with BPF observation.
- (b) Center gas Ar, without back shielding, top view, without BPF observation.
- (c) Center gas Ar, without back shielding, bottom view, with BPF observation.

ターガスに Ar ガスを用いて表面から高速ビデオで観察した結果を示す。レーザ照射部近傍には、濃いガス状物質が漂い、ビードやレーザ照射部がそのガス状物質に覆われて、観察しにくくなっていることが分かる。これは沸点の低い Mg が蒸発し、微粒子状となって、溶接部周囲に拡がったものと考えられる。また、CO₂ レーザ溶接の場合に存在したシールドガス (Ar ガス) プラズマおよび金属プラズマは、ほとんど観察されていない。これは前述のように CO₂ レーザと比べて Nd : YAG レーザは、プラズマによるレーザ光の吸収が10⁻² 程度に減少し、逆運動輻射によるプラズマ化が起きにくいためと考えられる。

Fig. 5 (b)にバンドパスフィルターを外して観察した結果を示す。この図から、レーザ照射位置だけが光っており、プラズマの発光はほとんど観察されないことがわかる。さらに Ar レーザによる照明も外して観察したが、レーザ照射部だけは、温度が高いために光って観察されるものの、プラズマの発光は確認できなかった。また、Fig. 5 (c)の裏面の状態では、表面側と同様に、プラズマの発光が観察されず、さらに Mg 蒸気によって、溶接部の周囲がおおわれているために、観察しにくいことが分かる。

また、バックシールドの有無における裏面に付着した微粒子形状とその特性X線像を Fig. 6 に示す。微粒子の径は1 μm 以下と非常に細かい。また、バックシールドのない条件では(a)、酸素の特性X線像が濃く、また、その位置で Mg, Al の特性X線像が薄いことから、これら微粒子の堆積部を中心に酸化していることが分かる。Fig. 5 で光っていたのはレーザ照射部だけであったことから、これらの微粒子などは蒸発直後に周りの空気と反応して酸化されその後ビー

ド近傍に付着したものと考えられる。

3.2 溶接ビード形成要因の検討

以上の結果からセンターガスに Ar, バックシールドを行わない条件での、CO₂ レーザ溶接, Nd : YAG レーザ溶接ビード形成モデルを Fig. 7 にまとめた。CO₂ レーザ溶接では特に裏面の形成が特徴的である。高速ビデオによる観察から分かるように、キーホールからでた金属蒸気は、プラズマ化することで急激に温度が上昇して大きく膨張し、高速で全方向に吹き出す。溶接部はそのプラズマの膨張による圧力で、熔融直後に両脇に押しのけられる。マグネシウムは液体での粘性と表面張力が非常に低く⁸⁾、他の金属と比べてプラズマの反力の影響を受けやすい。また、断続的に発生するプラズマによって、熔融したマグネシウム合金が歪みをうける。本条件では溶接金属部の裏面は、このようにプラズマの反力によって押しのけられて溝状になったものと考えられる。このプラズマに接触した部分は、非常に活性になり酸化されやすいため、周りの空気と接触して、表面が酸化され(MgO)、融点が急上昇して、一気に固まり、凹部の形状が、そのまま固定されるものと推察できる。一方、表面も同様に酸化を受けやすいが、Ar でシールドされているために、裏面ほど急激な酸化は受けない。さらに粘性の低さと、裏面と同様活性となるために、荒れた状態で固まるものと考えられる。

一方、Nd : YAG レーザによる溶接では、Fig. 4 に示した高速ビデオの観察結果から分かるように、レーザによって熔融した金属蒸気もシールドガスも、ほとんどプラズマ化していない。すなわちガスの急激な温度上昇はなく、溶接

Fig. 6 SEM observation of particles on the bead.
YAG laser, Laser power : 2 kW, welding speed : 50 mm/s.
(a) Center gas : Ar, without back shielding.
(b) Center gas : Ar, back shielding gas : Ar.

Fig. 7 Bead formation models of two welding by CO₂ laser and by YAG laser.

(a) CO₂ laser, center gas: Ar, without back shielding.

(b) YAG laser, center gas: Ar, without back shielding.

金属の上面では CO₂ レーザ溶接ほど、高温にならないと考えられる。また、裏面のシールド効果として、Fig. 5 に示したビード表面の高速ビデオ画像で分かるように、プラズマ化しなかったシールドガスや金属蒸気が、溶接ビード部上方にビードを覆うように漂う。それらは周囲の空気を遮断するだけでなく、Fig. 6 で説明したように、金属蒸気は周囲の酸素と反応することで、ビードの酸化防止を行うものと推察される。すなわち、プラズマが発生する Fig. 7(a) では、高温で活性なプラズマが、熔融金属と接触することで、ビードは急激に酸化するのに対し、プラズマが発生しない Fig. 7(b) では、金属蒸気がビードの周囲を覆って空気を遮断し、酸化を防止するものと考えられる。

3.3 機械的特性

次にシールド条件による機械的強度の差を調査するため突合せ継手を作製し引張試験によって調べた。引張試験片の形状は、溶接試料の寸法の関係から、平行部長さを 20 mm、平行部の幅を 20 mm とした。試験条件は JIS Z 3121、突合せ継手の引張試験方法に従った。Fig. 8 にその結果を

示す。強度値は 3 本の平均により評価した。CO₂ レーザではシールド条件やビード形状に対応して、引張強度が変化することが分かる。バックシールドがない条件で引張強度が低い理由は、溝によって溶接断面積が減少したためと考えられる。また、センターガスが Ar と He で強度が異なるのは、後述する溶接金属の結晶粒径の影響と考えられる。

一方 Nd:YAG レーザではバックシールドがない場合には、バックシールドがある場合に比べて 3 % 程度引張強度が低い。シールド条件にかかわらず安定した強度を示すことが分かった。これらの破断位置は、すべて HAZ または溶接金属部であった。

センターガスに Ar、バックシールドを行わない場合での CO₂ および Nd:YAG レーザで作製した溶接ビードのミクロ観察を Fig. 9 に示す。CO₂ レーザの場合、溝の近傍に亀裂があるのが確認できる。また、Nd:YAG レーザの方がデンドライトの間隔が狭く、急冷されていることが分かる。すなわち CO₂ レーザ溶接では、Ar や金属のプラズマが発生し、大きな熱源となる。その影響により溶接ビードの

溶融体積が拡がり、冷却速度も遅くなることで結晶を粗大化し、強度も低下するものと考えられる. Fig. 10 に上記条

件での溶接金属近傍中央部の硬さ分布を示す. 測定位置ごとのばらつきが大きい, Nd : YAG レーザで溶接した溶接金属の方が CO₂ レーザで溶接した溶接金属部と比較してやや硬い. これは CO₂ レーザで溶接した溶接金属部のは結晶粒が粗大化した影響と考えられる. また, CO₂ レーザによる溶接でも, シールドガスに Ar を用いた場合に比べて, He を用いた場合の方が引張強度が高かったのも同じ理由と考えられる.

Fig. 8 Tensile strength of the CO₂ and YAG laser weld beads.
Laser power : 2 kW welding speed : 50 mm/s.
(a) AZ31 base metal
(b) CO₂ laser, center gas : Ar, without back shielding gas.
(c) CO₂ laser, center gas : Ar, back shielding gas : Ar.
(d) CO₂ laser, center gas : He, back shielding gas : Ar.
(e) YAG laser, center gas : Ar, without back shielding gas.
(f) YAG laser, center gas : Ar, back shielding gas : Ar.
(g) YAG laser, center gas : Ar, back shielding gas : Ar, Shielding box : Ar.

Fig. 10 Vickers hardness distribution of the weld zone.
solid circle : YAG laser welding center gas : Ar without back shielding.
open circle : CO₂ laser welding, center gas : Ar without back shielding.

Fig. 9 Macro and micro structure of the weld beads.
Laser power : 2 kW, welding speed : 50 mm/s, center gas : Ar, without back shielding gas.

4. 結 論

本研究では、マグネシウム合金のレーザ溶接について、レーザ波長の違いによる溶接特性の差を明らかにするため、AZ31展伸材を CO₂ レーザおよび Nd:YAG レーザを用いて溶接し溶接現象の比較と、溶接メカニズムの検討を行った。特に表裏面のシールドガスの有無と種類の影響を連続波 CO₂ レーザおよび連続波 Nd:YAG レーザを用いてビードオンプレート溶接によって比較した。さらに突合せ継手の引張強度および組織を調べ、適正なシールド条件の選定および溶接メカニズムを検討した。本研究によって得られたことを以下に要約する。

1) CO₂ レーザ溶接ではセンターガスシールドに He、バックシールドに Ar を用いて溶接を行うことで、良好なビードが得られるが、センターガスに Ar を用い、バックシールドを行わないと、ビード形状が悪化することが分かった。高速ビデオによる観察を解析した結果、これはシールドガスと金属のレーザ誘起プラズマによる影響であり、特に裏面ではプラズマ反力の影響によって、ビードに溝が掘られることが分かった。

2) それに対し、Nd:YAG レーザ溶接ではセンターガスには Ar で十分であり、また、バックシールドを行わなくても良好な溶接ビードが形成されることが分かった。これは Nd:YAG レーザ溶接では、CO₂ レーザ溶接と比べてシールドガスや金属がプラズマ化しにくく、そのため溶接によって気化した、Mg 成分は、溶接ビードの周りに拡がり、自ら酸化することで、溶接部の酸化を防止するためであると推察される。

3) 裏面に付着した微粒子の EPMA の分析から、Mg は蒸気となって周囲の酸素と反応して酸化することが分かった。また、Nd:YAG レーザでは調べたどの条件でも十分

に高い引張強度があることから、Nd:YAG レーザ溶接における Mg の気化ガスは十分にシールド効果があることが分かった。

5. 謝 辞

本研究は地域コンソーシアム事業の一環として NEDO から委託を受けて実施したものである。

参 考 文 献

- 1) S.Schmann and F.Friedrich: The Use of Magnesium in Cars- Today and in Future, Magnesium alloys and their applications 2000, (1999), 3-13.
- 2) A. Weisheit, R. Galun and B.L. Mordike: CO₂ Laser Beam Welding of Magnesium-Based Alloys. Welding Journal, 77 (1998), 149s-154s.
- 3) M. Marya and G.R. Edwards: A study on the Nd:YAG laser beam welding of AZ91, IIW DocIX, (1999) 1-12. (13-25).
- 4) K. Haferkamp, I. Burmester, N. Niemeyer, E. Doege and K. Droeder: Innovative production technologies for magnesium light-weight constructions-Laser beam welding and sheet metal forming. Proc. Int. Symp. Automot. Technol. Autom. 30, (1997) 247-258.
- 5) H. Haferkamp, F. Alvensleben, I. Burmester and M. Niemeyer: The characteristics of laser beam welded magnesium alloys. ICALOE'97, G (1997) 140-149.
- 6) P.G. Sanders, J.S. Keske, K.H. Leong and G. Kornecki: High power Nd:YAG and CO₂ laser welding of Magnesium. Journal of laser appl., 11 (1999) 96-103.
- 7) 渡辺真生, 中林督博, 井上尚志, 平賀 仁, 松縄 朗: モニタリング基礎条件としてのシールドガスプラズマの影響—レーザ溶接のためのモニタリング法の特徴とその応用(1), 溶接学会論文集, 16-2 (1998), 169-180.
- 8) 日本金属学会編: 金属データブック改訂 3 版 丸善(1993), 16.