

マグネシウム合金のレーザー切断加工に関する基礎的検討 —炭酸ガスレーザーによるAZ31B板材の切断特性—

北田 良二*

Fundamental Study on Laser Cutting of Magnesium Alloy —Cutting Characteristics of AZ31B Plate Using CO₂ Laser—

by
Ryoji KITADA *

要 旨

マグネシウム合金をレーザー加工する場合、燃焼しやすいため、適切な加工条件でなければレーザー加工熱によって容易に燃焼してしまう。しかしながら、レーザー加工は切削加工と異なり切りくずの排出がないため、機械加工の課題であるマグネシウムの切りくずの後処理を検討する必要がない。また、無負荷加工であるため、柔らかいマグネシウム合金であっても薄板や長尺品の加工が可能となる。このような利点を活かしてマグネシウム合金のレーザー加工の研究開発は進められているが、研究事例は少ない。

本研究では、低出力炭酸ガスレーザーによる微細加工の可能性を検討するため、レーザー加工条件を実験パラメータとして、マグネシウム合金の薄板の切断加工特性を調査した。試料には、マグネシウム合金で最も汎用的であるAZ31Bを使用した。レーザー切断加工実験では、レーザー出力およびレーザーパルス数（オーバーラップ率）の変化に対する切断溝性状、ドロス高さおよびデブリ高さについて評価した。また、評価結果から抽出した最適加工条件を用いて微細形状加工を行い、微細加工の可能性について検討した。

Key Words : CO₂ laser, Laser cutting, Magnesium alloy, Kerf width, Dross, Debris

1. はじめに

現在、実用金属の中で最も軽い材料としてマグネシウム合金が注目されている。軽量化を目的として、軽量化の要求度の高い輸送機関係、持ち運び要求度の高いノートパソコンや携帯電話など電子機器の筐体への適用が広がっており、持続的社會への貢献としてマグネシウム合金の市場規模は拡大している¹⁾。一方、マグネシウ

ム合金には引火や爆発といった危険性もあるため適用が懸念されることも多く、加工性などの課題も多い。近年、これらの課題を解決する技術として難燃性マグネシウム合金や耐熱性マグネシウム合金の開発が進んでおり、マグネシウム合金の適用可能性が更に広がりつつある²⁾。また、生体親和性などの特性からインプラント用合金素材として医療用マグネシウム合金の開発が行われており、ステント等の医療部品においてはマグネシウム合金の微細加工技術が必要となる。

炭酸ガスレーザーは最も汎用的なレーザー発振器

*崇城大学工学部機械工学科教授

の一つとして、様々な材料の加工に適用されており、多くの産業で利用されている。発振器の出力も低出力から高出力まで幅広く、切断、穴あけ、溶接といった種々の加工に適用されているが、波長 10.6 μm の赤外光であるために加工部に発生する熱影響がしばしば問題となる。例えばマグネシウム合金の場合、酸化しやすい材料であるためレーザ熱加工の適用は難しい^{3),4)}。しかしながら、厚みが 1 mm 以下であるような薄板に対してであれば、低出力のレーザ発振器を適用できることから、熱影響を抑えながら微細加工できる可能性がある。そこで、本研究では、低出力炭酸ガスパルスレーザ（ピーク出力 100 W）によりマグネシウム合金の薄板（厚み 0.5 mm）を精密切断することを試みた。レーザ加工条件（出力、パルス数（オーバーラップ率））を実験パラメータとして、マグネシウム合金の薄板の切断加工特性を調査することで、低出力炭酸ガスレーザによる微細加工の可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 レーザ切断加工

本研究では、レーザヘッドが XY 方向に駆動することで加工ステージ上に固定された加工対象物を切断加工する低出力炭酸ガスレーザ加工機（Spirit GLS, Great Computer Corporation）を

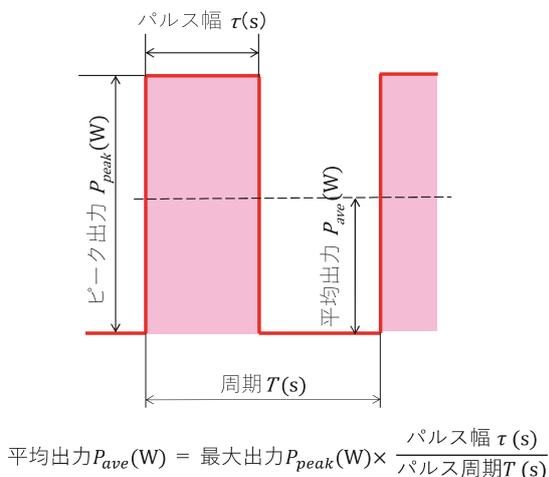


図1 パルスレーザ

使用した。本加工機が発振するパルスレーザの模式図を図1に示す。ピーク出力 P_{peak} (W) に対するパルス幅 τ (s) を設定値によって変化させることで、平均出力 P_{ave} (W) を制御することができる。また、レーザ光走査長さ 1 インチ当たりのレーザパルス照射回数であるレーザパルス数 PPI (Pulse Per Inch) を設定することで、図2に示すレーザ光の集光スポットの重なり度合であるオーバーラップ率を制御することができる。本論文では、レーザパルス数 (PPI) とオーバーラップ率 (%) を併記する。

本研究におけるレーザ切断加工の模式図および加工の様子を図3に示す。炭酸ガスレーザ発振器より発振されたレーザ光（波長 10.6 μm）をベンディングミラーにより加工対象物に向けて曲げ、集光レンズにより集光して加工対象物へ照射する。そして、レーザ光の焦点位置は、加工対象物のレーザ光入射表面を 0 mm として固定した。レーザ光を吸収した加工対象物はレーザ熱加工により除去加工され、レーザ光を走査することで切断加工される。加工点においては、熱影響の低減と加工屑を除去するために、レーザ光と同軸にアシストガスを噴射した。本実験では、アシストガスに酸素を使用した。酸

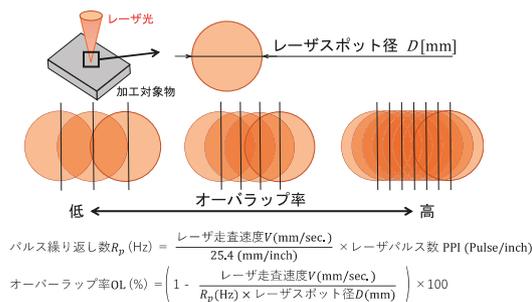
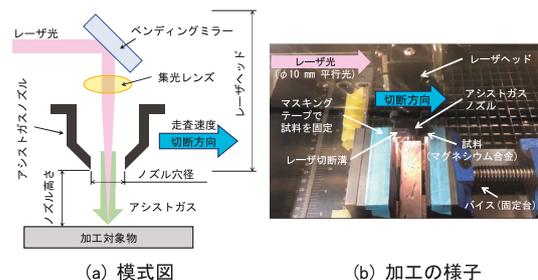


図2 オーバーラップ率



(a) 模式図 (b) 加工の様子

図3 レーザ切断加工

素を使用することで、レーザー熱加工による除去加工の効率が向上して切断加工が可能となる。ガスボンベから供給される酸素ガスをレギュレータにより圧力調整することで、アシストガス流量を30 L/minに固定した。また、アシストガスノズルは、黒アルマイト処理を施したアルミニウム製ノズルを製作して、ノズル高さ1 mmおよびノズル穴径1.0 mmのノズルを使用した。

レーザー切断加工実験におけるレーザー加工条件を表1に示す。レーザーパルス数（オーバラップ率）が30（-730.1）、100（-149.0）、300（17.0）、700（64.4）、1100（77.4）、1500 Pulse/inch（83.4%）に対して、レーザー平均出力設定値を10 W刻みで10～100 Wの間で変化させてレーザー切断加工実験を行った。レーザー出力およびレーザーパルス数（オーバラップ率）以外のパラメータは、表1の条件に固定した。なお、本実験では、レーザー光の走査回数は1回のみであり、重ね照射は行っていない。

2.2 マグネシウム合金

本実験では、レーザー切断加工実験の試料として、加工性に優れて最も利用されているマグネシウム合金であるAZ31Bを選定した⁵⁾。表2にAZ31Bの組成および物理的性質を示す^{6),7)}。AZ31Bに対する切断溝幅やドロス高さなどのレーザー切断加工特性を評価することで、低出力炭酸ガスレーザーによるマグネシウム合金の微細加工の可能性を検討した。

AZ31Bの試料には、不二ライトメタル（株）の厚み0.5 mmの薄板を、40 × 10 mmに切り出して使用した。また、実験試料には自然酸化皮膜が存在するため、酸洗浄（タニムラ

（株）、水溶性アルミサビ除去液BF4-26L）により自然酸化皮膜を除去したのち、レーザー光吸収剤（ファインケミカルジャパン（株）、FC-153）をスプレーして塗布することでレーザー光の吸収率を上げて切断加工を可能にした。そして、試料1枚につき1ラインのみレーザー切断加工を行い、レーザー光吸収剤をエタノール洗浄により除去した後に、その切断加工溝性状を評価した。評価した試料枚数は1枚であり、再現性を確認しながら実験した。切断加工溝性状はマイクロスコープ（（株）松電舎、高倍率USB3.0マイクロスコープFZR350PC2、多機能計測ソフトMeasurePRO-Ex）にて観察して、測定顕微鏡（（株）ニコンインスティック、MM-22）により切断溝幅、ドロス高さおよびデブリ高さを測定した。

3. 実験結果

3.1 切断加工特性

3.1.1 切断溝幅

図4にレーザーパルス数（オーバラップ率）に対する最大切断溝幅の測定結果を示す。図4(a)より、レーザー光入射側において、レーザー平均出力設定値が90 W以下の場合には、レーザーパルス数が大きくなるにしたがって切断溝幅が小さくなるのがわかる。これは、レーザーパルス数が大きくなるにしたがってパルス幅が小さくなり、1パルス当たりのエネルギーが小さなパルスが重なって照射されるため、パルスレーザーが走査ラインに沿って一様なエネルギー分布になりやすいためであると考えられる。実際に、切断溝

表2 マグネシウム合金AZ31Bの化学組成と物理的性質

標準化学組成 [mass%]	Al 3.0, Mn 0.2, Zn 1.0
比重(室温)	1.78
融点(概略値)[°C]	固相点 575 液相点 630
線膨張係数(20~200 °C)[10 ⁻⁶ /K]	26.0
熱伝導率(20 °C)[W / (m·K)]	75
比熱(20 °C)[kJ / (kg·K)]	1.05
引張強さ [MPa]	255
0.2% 耐力 [MPa]	200
せん断強さ [MPa]	130
伸び [%]	12
硬さ [HR]	49

表1 レーザー切断加工実験条件

パラメータ	水準	
レーザー平均出力設定値	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 W	可変
レーザーパルス数(オーバラップ率)	30(-730.1), 100(-149.0), 300(17.0), 700(64.4), 1100(77.4), 1500 Pulse/inch (83.4%)	
レーザー走査速度(実測値)	0.97 mm/sec	固定
集光レンズ焦点距離	50.8 mm (2.0 inch)	
レーザー光の焦点スポット径	0.102 mm	
試料表面からのレーザー焦点位置	0.0 mm	
ノズル高さ	1.0 mm	
ノズル穴径	φ1.0 mm	
アシストガス	酸素ガス JIS K1101 (純度: 99.5%)	
アシストガス流量	30 L/min	

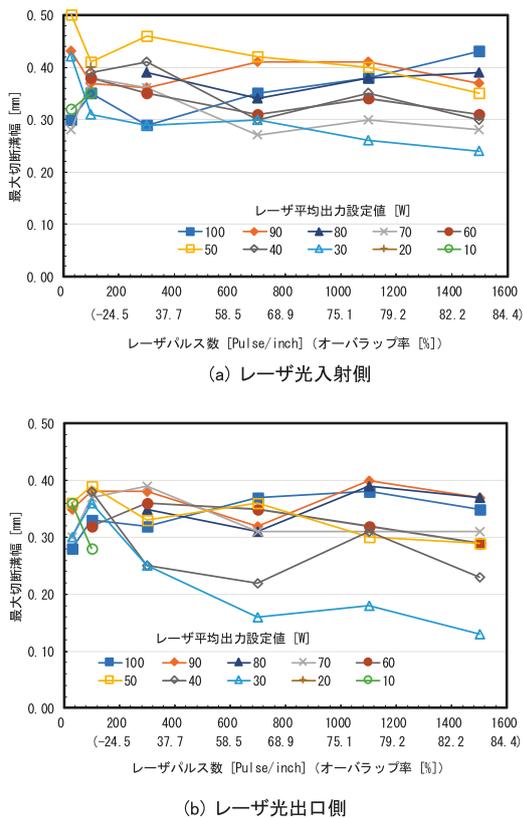


図4 レーザパルス数（オーバーラップ率）に対する最大切断溝幅

はギザギザした形状からストレートな形状へと変化している。一方、レーザー平均出力設定値が100 Wの場合は、他の出力の傾向とは異なり、レーザーパルス数が大きくなるにしたがって切断溝幅が大きくなる。この結果は、最大出力100 Wを設定した場合、理論上は100 Wの連続発振となるはずであるが、本加工機は平均出力が100 Wに近いパルス発振となることが影響していると考えられる（デューティ比95%以下のパルス発振）。レーザーが連続発振（CW）であれば、切断幅は設定したレーザーパルス数に関係なく一定になるはずであるが、実際にはパルス発振であるため、加工時にパルスによる影響を受け、レーザーパルス数によって切断溝幅が変化したと推測される。連続発振に近いパルス発振であることから、平均出力90 W以下の出力に比べて、パルスの休息時間は極めて短い。その結果、パルス休息時間の冷却効果は十分に働かず、レーザーパルス数を大きくするにしたがってレーザー加工熱が蓄積されることから、パルス

数が大きくなるにつれて切断溝幅が大きくなったと推測される。

次に、レーザー光出口側における切断溝幅の傾向を図4 (b) に示す。レーザー光出口側のレーザー出力に対する切断溝幅の傾向は、入射側と同様の傾向であることがわかった。レーザー出力が90 W以下の場合、いずれの出力においてもレーザーパルス数を大きくするにしたがって切断溝幅は小さくなり、レーザー出力が100 Wの場合は、レーザーパルス数を大きくするにしたがって切断溝幅が大きくなった。また、レーザー光入射側に比べて、レーザー出口側の傾向は緩やかであることがわかった。これは、レーザー光は入射側で直接吸収されて、そのレーザー加工熱の広がりやレーザー光の貫通によって切断溝は形成されるため、レーザー光入射側でレーザー加工パラメータに対する加工性状の変化が表れやすく、出口側ではその変化が抑制されるためであると考えられる。さらに、レーザー光が貫通した条件のほとんどで、切断溝幅はレーザー光出口側より入射側の方が大きいことから、レーザー光入射側は出口側よりもレーザー光の影響を直接的に受けると考えられる。なお、レーザー光出口側において、レーザー平均出力が30 Wと40 Wの場合は、完全に切断することができず、他の出力に比べて切断溝幅が極めて小さくなっている。この結果は、切断溝内に溶融再凝固物が詰まるためと考えられる。出力30 Wと40 Wはレーザー切断に必要な最小限のエネルギーであることから、入熱が少なく、溶融時の粘度が高くなり、アシストガス噴射によって除去されにくい。さらに、除去されなかった溶融物がアシストガスで冷却され凝固するため、溶融再凝固物が生成されやすくなる。そのため、出力30 Wと40 Wの試料から、切断溝内に溶融再凝固物が多く存在することが確認された。

図4の結果について、横軸にレーザー平均出力設定値を、縦軸に最大切断溝幅をとって並び替えたグラフを図5に示す。切断溝内の溶融再凝固物の詰まり具合を5段階評価して、レーザー出力範囲に対して色分けを行った。図5 (a) より、レーザー光入射側は、レーザー出力が大きくなるにしたがって、出力が50 Wまでの場合は切断溝

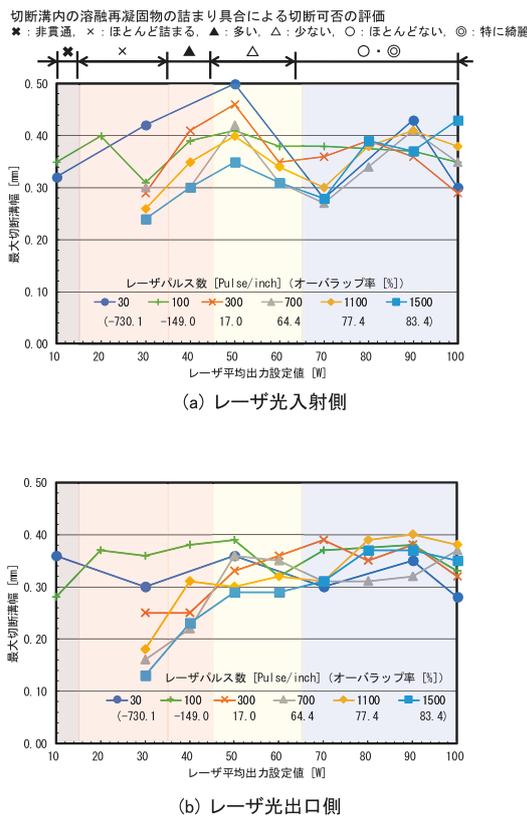


図5 レーザ平均出力設定値に対する最大切断溝幅

幅が大きくなり、出力が50～70 Wの範囲では切断溝幅は小さくなり、出力が70 W以上の範囲では切断溝幅は再び大きくなる傾向にあることがわかった。これは、レーザー切断に必要なエネルギーが関係すると考えられる。レーザー出力が20 Wまでの場合は、レーザー切断に必要なエネルギーが不足しているため、レーザー光は貫通しない。出力が20～40 Wの場合は、レーザー出力を大きくするにしたがってレーザー光が貫通を始めて、少しずつ切断溝幅が大きくなる。しかしながら、フルカットするにはエネルギーが不十分であるため、試料のレーザー光入射表面のみにエネルギーが吸収されて、レーザー光出口側には貫通していない。したがって、出力を大きくするにしたがって、レーザー光入射側の切断溝幅が大きくなる。レーザー出力が50 Wを境界に、切断に必要なエネルギーとなり、溶融物が試料のレーザー光出口側に抜けやすい切断溝が成形されるため、切断溝内の溶融再凝固物が減少する。したがって、レーザー光入射表面のみに吸収され

ていたエネルギーが試料のレーザー光出口側にまで貫通して、徐々にフルカットに近づくことで、レーザー光入射側の切断溝幅が小さくなっていく。さらにレーザー出力を大きくしていくと、出力70 Wで切断溝内に溶融再凝固物がないフルカットされた最も狭い良好な切断溝が形成される。この時がフルカットに必要な最低エネルギーであると考えられる。出力が80 W以上になると、レーザー切断に必要なエネルギーを超えるため、試料へ過剰に入熱され、出力を大きくするにしたがって切断溝幅が再び大きくなると推測される。以上の結果から、マグネシウム合金AZ31B薄板のレーザー切断加工において、出力70 Wが綺麗にフルカットされて、かつ切断溝幅が最も小さい切断溝を成形できる最適なレーザー出力条件であると考えられる。

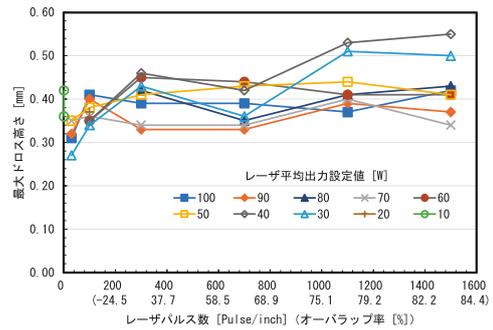
次に、レーザー光出口側における切断溝幅の傾向を図5 (b) に示す。レーザー光入射側においては、出力が大きくなるにつれて切断溝幅は増減したが、レーザー光出口側は、出力が大きくなるにしたがって切断溝幅は大きくなる傾向のみであった。これは、出力を大きくするにしたがって試料のレーザー光入射表面への入熱が大きくなり、出力30～60 Wの場合では試料のレーザー光出口側へレーザー光が徐々に貫通して、溶融物が試料のレーザー光出口側へ抜けていくことでレーザー光出口側の切断溝幅が増加するものと考えられる。出力70 Wに至ると溶融物が完全に除去されたフルカットとなる。出力80 W以上の場合では、溶融物が完全に除去されているため、レーザー光が直接試料のレーザー光出口側へ貫通することから、切断溝幅が大きくなることはないと考えられる。したがって、出力80 W以上ではレーザー光出口側の切断溝幅の変化が緩やかとなり、出力90～100 Wではその切断溝幅は一定となる。実際に、出力を大きくするにしたがって切断溝内の溶融再凝固物の量が減少していることから、出力とレーザー光出口側の切断溝幅は比例関係にあるものと推測される。しかしながら、レーザーパルス数が30、100 Pulse/inchの場合は、レーザーパルス数が300 Pulse/inch以上で見られる切断溝幅の増加傾向とは異なり、出力10 W以上から切断可能であり、いずれの出力

においても切断幅が一定となっている。300 Pulse/inch 以上のレーザーパルス数では、出力が小さくなるほど溝幅が小さくなるが、レーザーパルス数が30、100 Pulse/inch と小さな場合には、1パルス当たりのパルス幅が大きく、1パルス当たりのエネルギーが大きくなる。また、レーザーパルス数30、100 Pulse/inch はオーバーラップ率がマイナスであるため、パルスが離散的に照射される。つまり、1パルス当たりのエネルギーが大きなパルスレーザーが離散的に照射されることにより、レーザー加工熱の拡散によって切断される。したがって、出力の影響を受けずに切断されて溝幅は変化しなかったと考えられる。

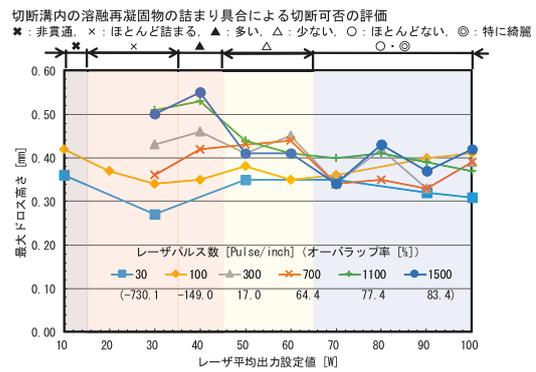
3.1.2 ドロス高さ

金属のレーザー切断加工において、レーザー光出口側の切断溝に沿って溶融再凝固物としてドロスが付着する。このドロス高さは切断品位の評価として重要である。そこで、試料のレーザー光出口側の切断溝に付着している最大ドロス高さを測定した。図6にレーザーパルス数（オーバーラップ率）およびレーザー平均出力設定値に対する最大ドロス高さの測定結果を示す。図6(a)より、レーザーパルス数が大きくなるにしたがってドロス高さは緩やかに大きくなる傾向であることがわかった。これは、切断溝幅によってアシストガス噴射による溶融物除去効果が変わるためと考えられる。レーザーパルス数が大きくなるほど1パルス当たりの入熱が小さなパルスが重なって照射されることで、切断溝幅が小さくなると考えられる。レーザーパルス数が大きくなるにしたがって切断溝幅が小さくなり、アシストガス噴射による溶融物除去を効果的に行えなくなった結果、溶融物がレーザー光出口側にドロスとして付着する量が増え、ドロス高さが大きくなっていったと推測される。特に出力が30、40 Wの場合にドロス高さが極めて大きくなっている。これらの出力は、切断に必要なエネルギーの最小値で、溝幅が極めて小さいことから、アシストガス噴射による溶融物除去の効果がより低くなったためと考えられる。

次に、図6(b)のレーザー出力に対する最大ドロス高さの変化について考察する。出力が30



(a) レーザパルス数（オーバーラップ率）に対する最大ドロス高さ



(b) レーザ平均出力設定値に対する最大ドロス高さ

図6 最大ドロス高さ

~70 W の場合、出力が大きくなるにしたがってドロス高さが小さくなり、出力が70 W 以上の場合はドロス高さが一定となる。特にレーザーパルス数が1100、1500 Pulse/inch の場合には、出力が30、40 W 時のドロス高さが0.50 mm 以上と大きく、700 Pulse/inch 以下のレーザーパルス数と比べて出力によるドロス高さの変化が大きい。また、レーザーパルス数が30、100 Pulse/inch の場合には、ドロス高さは出力によらず一定となることがわかった。これは、図5(a)で述べた考察と同様に、切断溝幅によってアシストガス噴射による溶融物除去効果が変わるためであると考えられる。図5(b)で述べたレーザー光出口側の出力に対する切断溝幅と比較すると、出力が大きくなるにしたがってレーザー光出口側の切断溝幅は大きくなっていき、ドロス高さは小さくなっていくことがわかる。つまり、切断溝幅が大きくなるとアシストガスが切断溝を通りやすくなることで、溶融物がドロスとしてレーザー光出口側に付着せずに吹き飛ばされやすくなった結果、ドロス高さが小さくなったと考えられる。

以上の結果より、ドロス高さとしてレーザー光出口側の切断溝幅は反比例の関係にあることがわかった。つまり、レーザーパルス数が小さく、出力が大きいくほど、切断溝幅は大きくなり、ドロス高さは小さくなる。

3.1.3 デブリ高さ

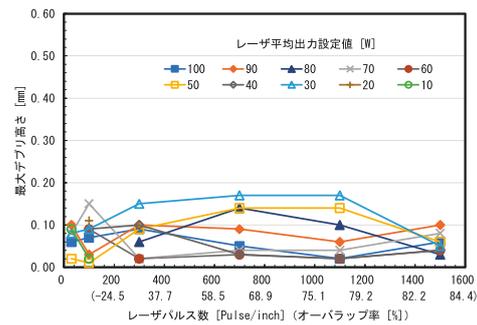
金属のレーザー切断加工において、ドロスと同様に、レーザー光入射側の切断溝に沿って付着するデブリは切断品位を悪化させる。デブリは、切断時にアシストガス噴射によって試料のレーザー光入射表面に付着する切断溝からの除去加工物である。そこで、レーザー光入射側の試料表面の切断溝に付着している最大デブリ高さを測定した。図7にレーザーパルス数（オーバーラップ率）およびレーザー平均出力設定値に対する最大デブリ高さの測定結果を示す。デブリ高さはレーザーパルス数や出力によって変化せず、いずれのパルス、出力でも0.20 mm以下でほぼ一定であることがわかった。これは、レーザー熱加工による溶融物は切断溝から試料のレーザー光出口側へドロスとして抜け落ちるためであると考えられる。つまり、レーザー光が貫通して切断溝が形成される場合には、溶融物は切断溝から試料のレーザー光出口側へ抜けるためデブリとして試料表面に付着する量は少なくなる。また、レーザー光が貫通せず切断溝が形成されない場合は、出力が小さいことにより試料の溶融物量が少ないためデブリがほとんど生成されないと考えられる。

3.2 切断加工溝性状

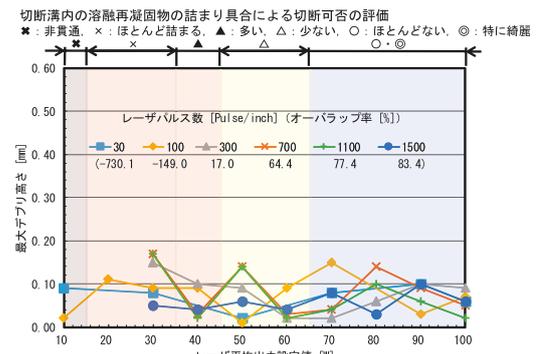
3.1節の実験結果から、切断溝が綺麗にフルカットされて、かつ切断溝幅が最も小さい切断溝を成形できる条件を抽出すると、出力が70 Wでレーザーパルス数（オーバーラップ率）が700 Pulse/inch（64.4%）の条件となった。表1における赤い□で囲まれた水準が抽出条件であり、このときの試料の切断加工溝性状を図8に示す。

3.3 微細形状加工

本研究により得られたレーザー切断加工特性から、マグネシウム合金のレーザー精密切断加工の



(a) レーザパルス数(オーバーラップ率)に対する最大デブリ高さ



(b) レーザ平均出力設定値に対する最大デブリ高さ

図7 最大デブリ高さ

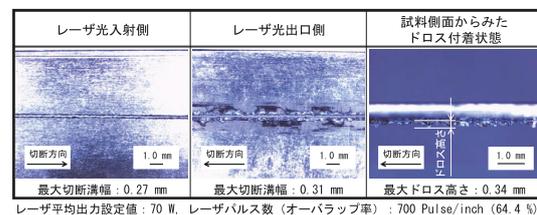


図8 抽出条件におけるレーザー切断加工性状

可能性があることがわかった。実験結果より、出力70 W、パルス数700 Pulse/inchのレーザー加工条件が、マグネシウム合金AZ31B薄板のレーザー精密切断加工に適する条件として抽出された。そこで、この条件（表1の赤枠および固定条件）を用いてマグネシウム合金の形状加工を行い、微細形状加工の可能性を検討した。

マグネシウム合金AZ31B薄板（厚み0.5 mm）に対して、図9に示す微細形状デザイン（ハニカム形状）のレーザー精密切断加工を試みた（切断方法は、2節と同様）。さらに、レーザー切断加工とレーザー光吸収剤除去後に、ドロス除去を目的として超音波洗浄（シャープ（株）、UT-106、発振周波数37kHz）を付加した酸エッチング（タニムラ（株）、水溶性アルミサビ除

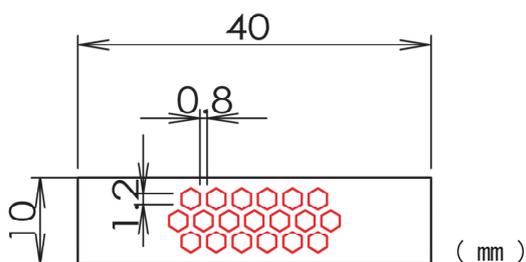


図9 微細形状デザイン (ハニカム形状)

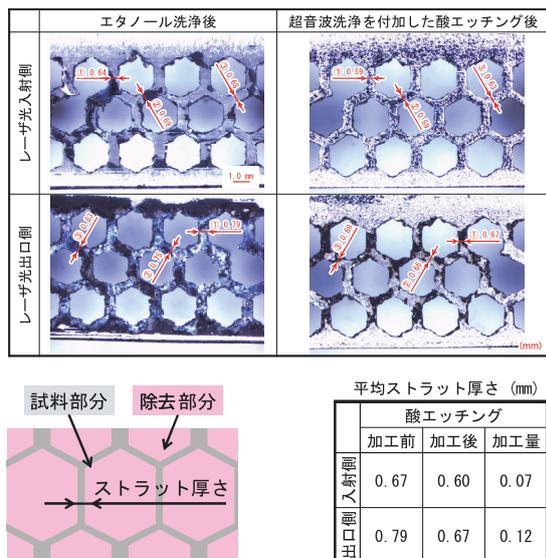


図10 微細形状加工結果

去液 BF4-26L) による二次加工を 10 分間行った。

微細形状の観察および測定結果を図 10 に示す。レーザー切断加工によってストラット厚さ 0.70~0.80 mm 程度の微細形状加工が可能であることがわかった。また、超音波洗浄を付加した酸エッチングによる二次加工によって、ドロスの低減が可能であり、ストラット厚さは 0.60~0.70 mm 程度にまで減少した。しかしながら、ストラットの形状は安定せず、ストラット厚さにばらつきが生じたり、ストラットが欠損したりすることがあった。また、酸エッチングによる二次加工では、ドロス除去加工は完全に行えず、試料表面が溶けて荒れるなどの課題が残った。

4. おわりに

低出力炭酸ガスレーザーによるマグネシウム合

金のレーザー切断加工の基礎的検討として、パルスレーザー (波長 10.6 μm 、ピーク出力 100 W) により、マグネシウム合金 AZ31B 薄板 (厚み 0.5 mm) のレーザー切断加工特性を評価した。また、得られたレーザー加工条件から精密加工に適する条件を抽出して、レーザー微細形状加工の可能性を検討した。本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- (1) レーザパルス数が大きくなるにしたがって切断溝形状はストレートになっていき、切断溝幅はレーザー光入射側および出口側ともに小さくなる。
- (2) レーザ光入射側の切断溝幅は、出力が大きくなるほど切断溝幅は基本的に大きくなる。
- (3) レーザ光出口側の切断溝幅は、出力が大きくなるにしたがって切断溝幅は大きくなる。また、レーザー光出口側の切断溝幅が大きくなるほどドロス高さは小さくなる。
- (4) デブリ高さは、出力およびレーザーパルス数によらず、0.20 mm 以下でほぼ一定となる。
- (5) ハニカム形状のレーザー微細形状加工と超音波洗浄を付加した酸エッチングによる二次加工を行った結果、ストラット厚さ 0.60~0.70 mm 程度の微細形状を実現することができた。

以上のように、レーザー平均出力設定値およびレーザーパルス数 (オーバーラップ率) がレーザー切断加工性状に及ぼす効果が明らかとなった。レーザー加工条件を適切に制御することで、低出力炭酸ガスレーザーによるマグネシウム合金のレーザー切断加工が可能であることがわかった。

謝 辞

本研究は、2019 年度の卒業研究として実施した研究成果である。本研究テーマについて、数多くの実験データを収集して評価してくれた小林義佑君に深く感謝する。

また、本実験で使用した試料であるマグネシウム合金 AZ31B の板材を提供して頂いた不二ライトメタル株式会社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，429.
- 2) 河村能人：航空機実装化を目指した *KUMADAI* マグネシウム合金の研究開発，軽金属，第 65 巻，第 9 号 (2015)，466-471.
- 3) 重松一典，斎藤尚文，中西勝，馬渕守，松山晴俊，中村守：AZ31 マグネシウム合金薄板のレーザー切断，軽金属，第 50 巻 9 号 (2000)，446-450.
- 4) 遠藤雅守：マグネシウム合金のレーザー切断加工，天田財団助成研究成果報告，Vol. 17，(2004)，71-76.
- 5) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，73-74.
- 6) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，58.
- 7) 日本マグネシウム協会編：現場で生かす金属材料シリーズマグネシウム，丸善出版，(2011)，50-52.

