

YAGレーザーによる精密切断加工技術及び接合技術*

荒武 崇幸*¹

Technology of Precise Cutting and Welding by YAG Laser Beam

Takayuki ARATAKE

レーザービームはエネルギー密度が非常に高く、狭い範囲の集中的な加熱が可能のため、板金の接合が可能と言われている。県内に普及している炭酸ガスレーザーはステンレスに対しては吸収されやすいが、アルミや銅には反射されやすく接合が困難なため、これらに対する吸収率の高いYAGレーザーを用いて薄板の接合実験を行った。その結果、ステンレスは幅広い条件で接合が可能で、条件によっては母材よりも強い接合強度が得られた。アルミニウムは、ステンレスの約10倍のピーク出力により接合が可能で、母材強度の約80%の接合強度が得られた。銅は更にアルミニウムの約2倍のピーク出力により接合が可能で、母材強度の約70%の接合強度が得られた。

キーワード：YAGレーザー、アルミ、銅、ステンレス、接合

1 はじめに

レーザービームは、エネルギー密度が非常に高く、比較的狭い範囲の集中的な加熱が可能のため、板金等の高速切断や接合が可能である。ステンレス鋼板や鉄板の加工には炭酸ガスレーザーが広く使われているが、アルミニウムや銅は炭酸ガスレーザーを反射し易く加工が極めて困難である。そこで、これらの材料に対してビームエネルギーの吸収率が比較的高いと言われるYAGレーザーを導入し、薄板（厚さ0.3、0.5、1.0 mm）の接合条件を確立するために基礎的な実験を行ったので、その結果を報告する。

2 実験方法

2 - 1 実験装置

加工実験は、当工業技術センターに設置されているYAGレーザー加工機（住友重機械工業製、JK701H型）を用いて行った。実験装置外観、レーザー加工ヘッド及び接合治具を図1及び図2に、実験装置の主な仕様を表1に示す。



図1 実験装置外観

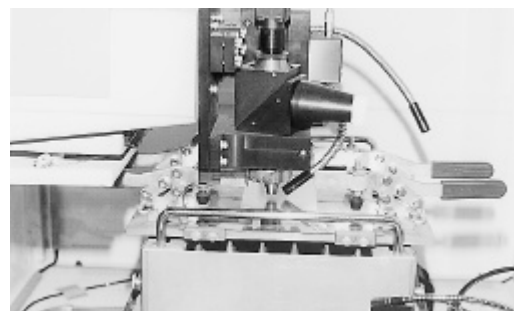


図2 レーザ加工ヘッド及び接合治具

2 - 2 試験片

実験材料には、アルミニウム及び銅の板で、厚さ0.3、0.5、1 mmの3種類、比較用の材料として製缶等で多く使われているSUS304の厚さ0.3、0.5、1 mmの3種類を用いた。

* YAGレーザーを用いる機械加工技術の高度化
（第2報）

* 1 機械電子・デザイン部

表1 実験装置の主な仕様

レーザー発振方式	パルス発振
最大平均出力	550W
最大ピーク出力	7kW
最大パルスエネルギー	70J
ビームモード	マルチモード
発振波長	1.06 μ m
周波数	0.1～500Hz
パルス幅	0.5～20ms
アシストガス	酸素、窒素、アルゴン、エア
ストローク	X：500mm Y：500mm Z：450mm
光学系	固定光学系：Welder LD1 LD2 ファイバー光学系

表2 レーザ出力確認時の設定パラメータ

周波数(Hz)	5～200(5Hzピッチ)
パルス幅(ms)	0.5、1、2、3、5、10、15、20

表3 ビードオンプレート実験条件

シールドガス	窒素
周波数(Hz)	5～150
パルス幅(ms)	1～15

表4 接合実験条件

周波数(Hz)	アルミ：10～60 銅：5～15 SUS304：10～150
パルス幅(ms)	アルミ：2～15 銅：2～12 SUS304：1～15
ビーム照射ピッチ(mm)	アルミ：0.3～0.7 銅：0.05～0.7 SUS304：0.3～0.5
シールドガス	窒素ガス 流量：20 $\frac{\text{リットル}}{\text{分}}$ ノズル径：9mm

2-3 実験条件

当所のYAGレーザー発振器は、発振媒体を励起するフラッシュランプのエネルギーがある値をとる時に出力が最大となる「共振器」と呼ばれる方式である。周波数と波長によって出力が異なるため、3種類装備している共振器の中から今回は接合用のWELDER共振器を選び周波数と波長を変化させて出力の変化を調べた。

次に、出力試験のデータを参考にして、各材料のそれぞれの厚みの物に対してビードオンプレート(接合を想定した条件で素材にビームを照射して溶かす)により溶け込みが貫通するか否かを調べた。

更に、1辺100mmの四角板を突き合わせ、ビードオンプレートでの溶け込み状況を参考にしながら突き合わせ部にビームを照射し接合を試みた。実験条件は、表2～4のとおりとした。

2-4 評価方法

ビードオンプレートによる溶け込み実験では、周波数の低い、パルス幅の小さい条件から実験を開始し、溶け込み状況を観察しながら周波数、パルス幅を徐々に増加させた。溶け込みが貫通し、スパッタの飛散量が少ない状態を良好な状態と判定した。

各材料とも、ビードオンプレートによる溶け込みが良好な条件について、突き合わせ接合実験を行った。

接合が終了したテストピースはビードを顕微鏡で観察しながら撮影し、更に引っ張り試験用テストピースを切り出して引っ張り試験による接合強度の評価を行った。

3 結果及び考察

まず出力テストでは、周波数10～30Hzの場合に、あるパルス幅の時に最大平均出力550Wが得られた。周波数が高くなるにつれて最大平均出力は小さくなり、平均出力が最大となるパルス幅は小さくなった。周波数が160Hz以上では、パルス幅が最小値の0.5msの時に平均出力が最大となった。

ピーク出力は、周波数10Hz以下の場合パルス幅が5ms以下では一定値(9～10kW)となり、パルス幅が大きくなるにつれて小さくなった。10Hzを超えるとピーク出力はほぼ同じでも一定値を取

るパルス幅は小さくなり、40Hzを超えるとピーク出力は徐々に小さくなった。平均出力の変化を図3、ピーク出力の変化を図4に示す。

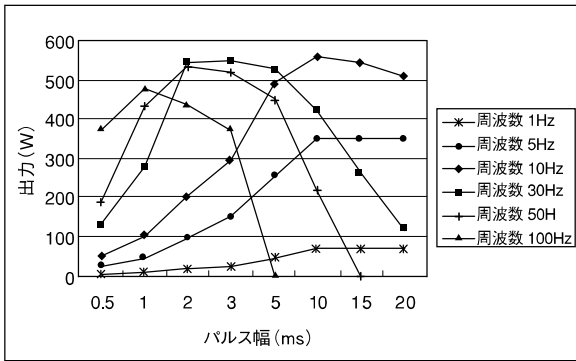


図3 WELDERによる平均出力の変化

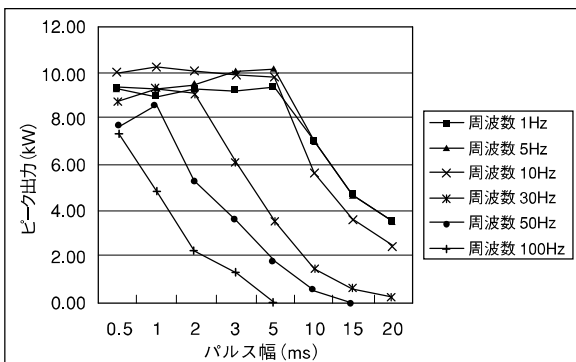


図4 WELDERによるピーク出力の変化

ビードオンプレートによる溶け込み実験では、アルミと銅はパルス照射のピッチが小さすぎると溶融部にビームを照射する状態になるためか、ビームの反射率が高くなって溶け込み不足や出力計の誤動作が発生した。したがって、銅は0.4mm以上、アルミは0.3mm以上の照射ピッチが必要であることがわかった。銅の接合状況の例を図5に示す。

接合実験の結果を材料別に見ると、SUSは幅広い条件で接合が可能で、ビード形状も良好である。接合条件によっては母材よりも強い接合強度が得られた。小さいピーク出力でも接合できるため、ある程度高い周波数での接合が可能だが、ビームを照射し始めてから加工テーブルが動き始めるまでのタイムラグにより接合開始点に余分なエネルギーが集中するため、溶け落ちてしまうことが

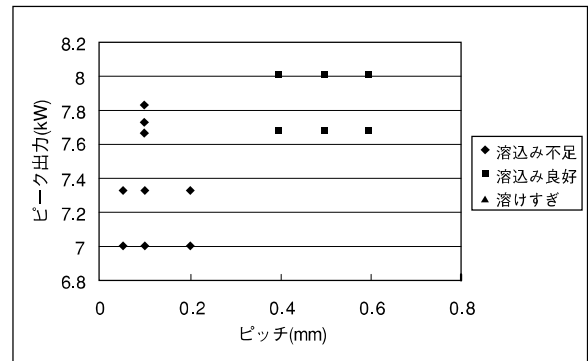


図5 銅の接合状況 (厚さ = 0.5mm、15Hz、パルス幅 3 ms)

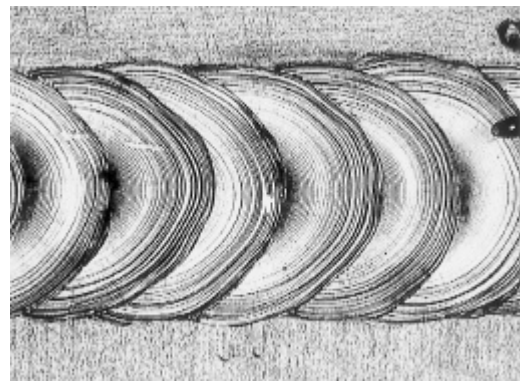


図6 SUSのビード (厚さ = 1 mm、10Hz、15ms、ピッチ = 0.5mm)

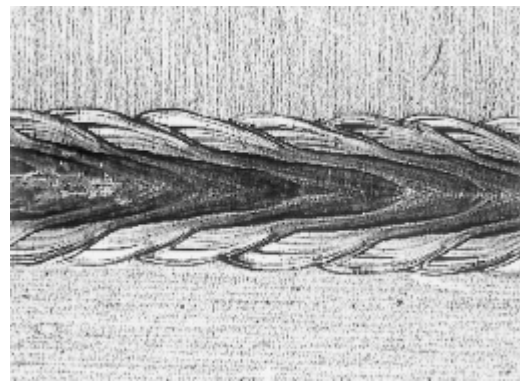


図7 SUSのビード (厚さ = 0.3mm、90Hz、3 ms、ピッチ = 0.5mm)

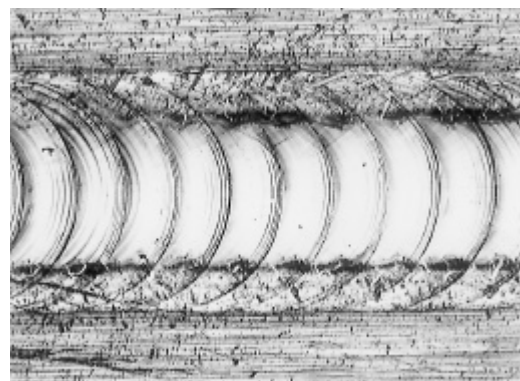


図8 アルミのビード (厚さ = 0.3mm、40Hz、3 ms、ピッチ = 0.3mm)

あった。また、ピーク出力が大きすぎると、適正な条件と比べてビードの形状は流れたような状態になった。適正な条件による接合ビードの例を図6に、強い条件による接合ビードの例を図7に示す。

アルミは、SUSの約10倍のピーク出力により接合が可能だが、ビード形状も比較的良好で、幅広い条件で接合することができた。しかし、ピッチが大きすぎると接合部に欠陥が発生しやすいことがわかった。引張試験ではすべて接合部で破断したが、最高で母材の約80%の強度が得られた。ビードの例を図8に示す。

銅は更にアルミの約2倍のピーク出力が必要で、大きなピーク出力を得るために低い周波数でしか接合できなかった。溶け込みが貫通した条件では表面でスパッタが飛散し、ビード形状はあまり良好ではなく、適切な接合条件幅は狭かった。引張試験ではアルミと同様にすべて接合部で破断したが、最高で母材の約70%の強度が得られた。ビードの例を図9に、引張試験テストピースを図10に示す。

接合条件別に見ると、パルス幅は大きい方が接合しやすかった。同じピーク出力でもパルス幅が小さい場合は1パルス当たりのエネルギーが小さくなり、深い溶け込みが得られなくなるため接合が困難になった。そこで深い溶け込みを得るためにパルスエネルギーを大きくすると、ピーク出力が高くなり溶けすぎたり多量のスパッタが発生するため、やはり接合が困難になった。3ms未満の小さいパルス幅では、溶け込みが貫通しない条件でも溶融金属がスパッタとなって飛散し、溶け込みを貫通させるためにピーク出力を高くすると穴が明き、ほとんど接合できなかった。アルミの例を、図11に示す。

周波数は、低い方が接合が容易であることがわかった。同じパルスピッチで接合する場合、周波数が高くなるほどビームの移動速度は速くなり、各々のパルスビーム照射位置への直前のパルスによる熱影響が小さくなり、十分な溶け込みを得るためにピーク出力を大きくしなければならなかった。しかしピーク出力が大きすぎると溶けすぎたり多量のスパッタが発生するため、やはり接合

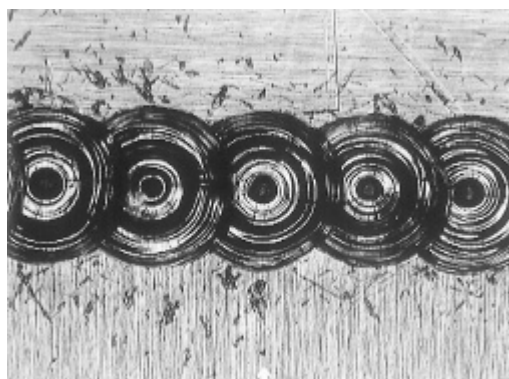


図9 銅のビード（厚さ = 0.3mm、15Hz、4 ms、ピッチ = 0.6mm）

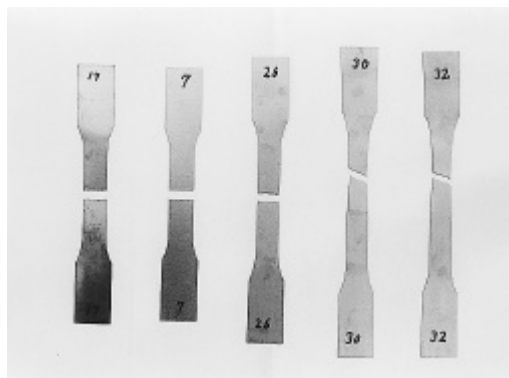


図10 引張試験片（銅：NO.17、アルミ：NO.7、SUS：NO.26、30、32）

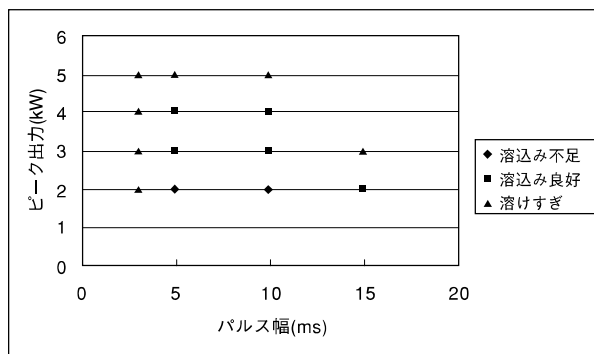


図11 アルミの接合状況（厚さ = 0.5mm、10Hz、ピッチ = 0.3mm）

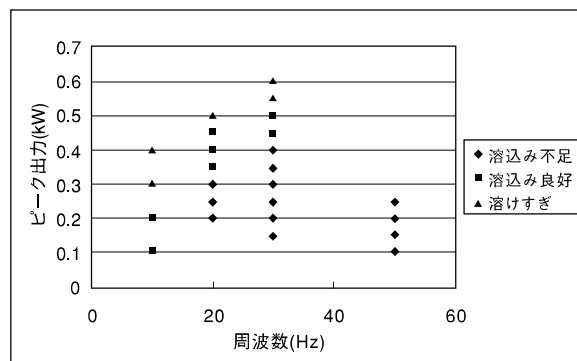


図12 SUSの接合状況（厚さ = 0.5mm、パルス幅 = 10ms、ピッチ = 0.5mm）

が困難になった。SUSの例を、図12に示す。

ビーム照射ピッチについては、ピーク出力やパルス幅などの条件に対してピッチが適正な場合は隣り合うパルスビームの溶け込みが図6～9に示すように適度にオーバーラップした。大きすぎると各パルスビームによる溶け込みが独立してしまい、隙間ができた。しかし、ピッチが小さすぎると銅やアルミなどの場合は前記のように反射が大きくなって接合不能となった。

ピーク出力については、前記のように大きすぎるとスパッタの発生や溶け落ちなどが生じ、小さすぎると溶け込み不足になった。ピーク出力が大きすぎた場合のビードの例を図13に示す。

接合速度は周波数とパルスピッチで決まるが、高い周波数で速く接合しようとする前記のようにスタート時のタイムラグにより溶け過ぎが発生

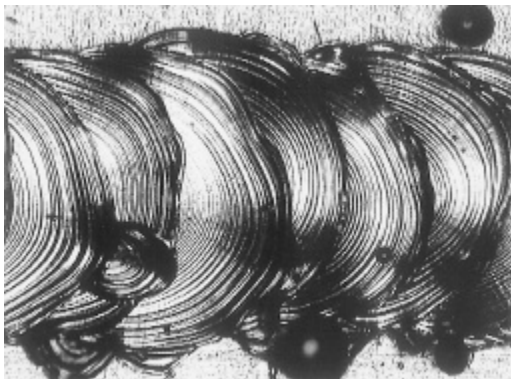


図13 SUSのビード（厚さ=1.0mm、10Hz、10ms、ピッチ=0.5mm）

するため、あまり速くない方がよいことがわかった。

4 まとめ

今回の実験では、接合用共振器であるWELDERを用いて、厚さ0.3～1.0mmのアルミと銅の薄板の接合を試み、十分接合可能であることがわかった。また、それぞれの材料の接合特性や接合条件（周波数、パルス幅、ピーク出力、ビーム照射ピッチ）も把握することができた。更に、比較用材料として用いたSUS304についても接合特性について調べることができ、接合条件を把握することができた。総体的には、低い周波数でパルス幅を大きくし、ピーク出力を小さくすると良好な接合を行えることがわかった。

今回の結果によると、SUSとアルミは厚さ1mmを超える場合でも接合が可能ではないかと思われるが、スパッタは増加する恐れがある。しかし、銅は1mm以上の厚さについては溶け込みが不十分となり接合が困難である。

これらの材料は、化学関係や電子関係の企業で多く利用されている。今後は、T形隅肉接合、重ね接合、厚みの異なる材料や異種金属の接合など、より実用的な接合方法について試みてみたい。また、更に薄い材料やこれら以外の材料についても接合を試みてみたい。