

Qsw-YAG レーザによる積層アルミニウム箔の溶接

千葉工業大学 ○前田真吾(院), 久保卓也(院), 吉岡俊朗, 日本ケミコン(株) 久保内達郎
要旨

厚さ $30\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を 10 枚積層し, その積層面上方から Qsw-YAG レーザを走査しながら切断を行うと切断壁面に箔厚さの 8 割程度の残留凝固層が形成され, その部分の箔間の溶接を行えることを前報にて報告した. しかし, この方法では溶接できる枚数に限度があるという問題点があった. そこで積層面へではなく積層端面にレーザ照射をし切断を行った. その結果, レーザ切断部にはレーザ深溶け込み状の溶接部が形成された. この方法ならば枚数に関わらず溶接を行える.

1. 緒論

近年, 電子部品の小型化・高性能化に伴い, 厚さ数十 μm のアルミニウム箔を数十枚積層して溶接するという要求がなされているが, これに関する報告例はほとんど見られない. YAG レーザを積層方向から照射しスポット溶接した例では¹⁾, 溶融部にブローホール, クラック等の一般的に見られる欠陥の他に溶融凝固部と母材(箔)との境界部のほぼ全周で, 各箔が凝固部側(中心方向に)に引き延ばされたり, 引きちぎられたりしている欠陥が見られる. このような欠陥は比較的厚いアルミニウム板の溶接では見られない現象であり, アルミニウム箔特有のものと考えられる. これはアルミニウム箔の特質及び凝固収縮率が非常に大きいということに起因していると考えられる. 著者らの一部は形成される溶融部の厚さを箔厚のオーダーに抑えることが, 引きちぎれ欠陥の無い積層アルミニウム箔の溶接の方法の一つであると提案した. また, 前報²⁾では, Qsw-YAG レーザを積層方向から照射, 切断した場合, 切断壁面において箔同士の溶接が行われることを示した. このメカニズムとして, Qsw-YAG レーザ照射により除去された溶融体が切断部後方に飛散し, 切断内壁に付着, 凝固して残留し, 溶接がされていると考えた. この内壁に残留する凝固物が, 箔の厚さと同程度であれば, 積層箔間の電気的溶接が可能である. しかし, この方法は切断した箔の内壁部分に溶接部を形成するという性質上, 切断できる深さには限界があるため, 溶接できる箔の枚数も限定され, 溶接枚数は 15 枚程度であった. 本報告は箔厚 $30\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を約 30 枚積層し, 積層端面へレーザを照射しながら切断・溶接し, 溶接枚数の増加並びにデフォーカス, 走査速度等の残留凝固部への影響について検討したものである.

2. 実験方法

2.1 試料及び実験装置

試料は純度 99.99%, 箔厚 $30\mu\text{m}$ のアルミニウムを $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ に打ち抜き, 30 枚を積層し, 厚さ 1mm のアルミ板で挟んだものである. 装置は Qsw-Nd:YAG レーザ発振機 (SL114K), レンズ焦点距離 30mm である. レーザ条件は Q スイッチ周波数 3kHz , ピーク出力 (P) 11kW とし, デフォーカス量 (L_f) は $L_f = (-0.5 \sim 0.5\text{mm})$, 走査速度 (v) は $v = (1 \sim 9\text{mm/s})$ である.

2.2 照射方法及び加工深さ

積層箔は積層方向を SUS304 製ホルダで押さえつける. レーザ照射方法を図 1 に示す. レーザはアルミ板部分に 1 秒ほど照射をしてから反対側のアルミ板まで走査する.

その後形成された加工深さ, 残留凝固部を観察するため, 試料を埋め込み樹脂に固め, エメリー紙を用いて試料の断面を取る. 加工深さは図 2 のように定義した. 積層方向から削っていくと, 試料の大きさに対して溶接部が非常に小さいため箔が剥がれてしまうことが多く, 加工深さ, 残留凝固部の観察をうまく行うことができない. そこで積層端面方向からレーザ走査方向に対して約 45° 角度をつけて削った. この断面を 45° 縦断面, また, レーザ走査方向と平行に試料を削ったものを平行断面と呼ぶ.

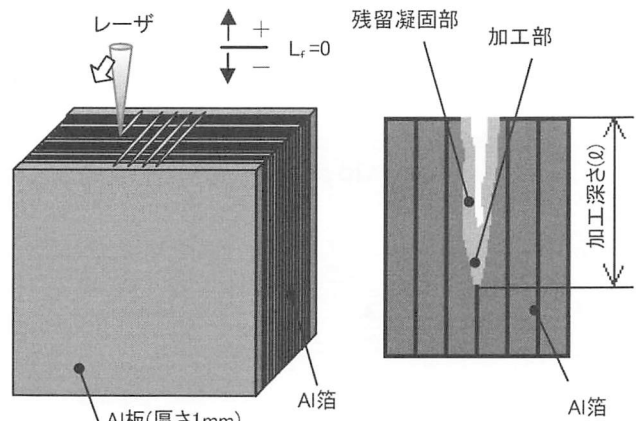


図 1 レーザ照射方法

図 2 加工深さ

3 実験結果

3.1 デフォーカスの影響

試料表面に焦点を合わせた時を $L_f = 0$ とし, 焦点位置をそれより上方にずらした場合プラス, その逆をマイナスとする. $-0.5, -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.5\text{mm}$ と変化させ実験を行った. その時の 45° 縦断面写真を図 3 に示し, 加工深さが一番深いと思われる所に白線を入れてある. 45° 角度をつけて削っているため箔厚は $\sqrt{2}$ 倍となって写っている. また, 加工部切断形状が箔に対して大きく傾いているものもあるが, これは試料を削る際にレーザ照射方向と平行に削れなかったためである. したがって, 下方部分は表面の加工部と時間的に異なる位置になっている. しかし, 加工部の形成を判断することにはあまり影響ない. 加工深さは $L_f = 0\text{mm}$ が一番深く ($l = 620\mu\text{m}$), L_f が大きくなるに連れて浅くなり, $L_f = \pm 0.5\text{mm}$ では $L_f = 0\text{mm}$ の約 7 割である. 残留凝固部は $L_f = \pm 0.1\text{mm}$ の範囲においては様々に形成されている. $L_f = 0.2, -0.2\text{mm}$ では残留凝固部が試料表面付近においてわずかに形成されていない箇所がある. これは焦点位置がずれるため, 試料表面にできる穴径が大きくなり,

溶融物が切断内壁に残留せず飛散してしまったためと考えられる。 $L_f=0.5\text{mm}$ 、 -0.5mm においては残留凝固層がほとんど形成されていない。これは $L_f=0.2$ 、 -0.2mm の時よりも更に焦点距離がずれているため、試料表面にできる穴径が大きくなってしまいより溶融物が飛散しやすくなってしまったためと思われる。以上の結果から、良好な溶接が行える焦点位置は試料表面付近であれば良い。また、試料表面に盛り上がった部分があり、これは溶融物が飛散時に切断溝の入り口付近で内壁に付着し、堆積したものである。飛散量が多い $L_f=\pm 0.5\text{mm}$ の時に堆積量が多くなっている。

強度測定については測定器で測っていないが、箔を手で剥がしてみたところ、ある程度力を入れなければ剥がれなかった。また、破断場所は残留凝固部と箔の境界では破れず、箔内破断である。このことから溶接は十分行えていると考える。

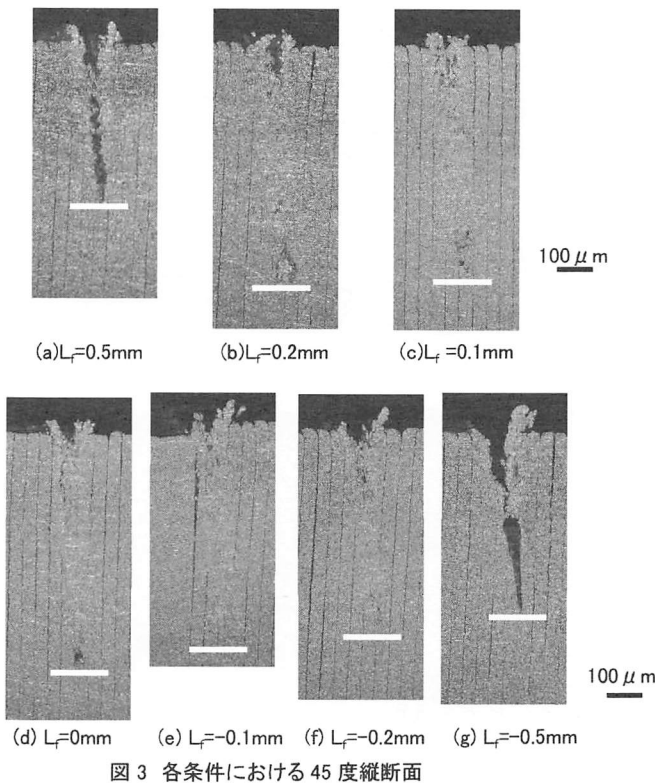


図3 各条件における45度縦断面

3.2 平行断面

良好な溶接が行われている条件 $L_f=0\text{mm}$ において走査方向にどのように残留凝固部が形成されているかを調べるため、平行断面を取った。この実験では残留凝固部がどのように形成されているかも調べるためレーザー照射を途中で止める方法で実験を行った(試料は移動している)。平行断面を図4に示す。上方にある表面写真内における白線は断面を取った場所近傍を示している。残留凝固部が一様に形成されていることが分かる。また、レーザー照射を止めた所で穴が形成されている。この穴部は写真より約 $100\sim 120\mu\text{m}$ あり、ビーム径 $60\mu\text{m}$ の約 $1.5\sim 2$ 倍となっている。前述のようにレーザー照射開始点では約1秒間試料は止められているのでAl板には穴が形成されているものと考えられる。その後の

試料の移動に連れて形成されている穴の前方がレーザー除去されることになるので、ここで除去された溶融体が後方へ飛散・付着し、図のように切断部全体に一様に残留凝固したものと考えられる。また、レーザー開始直後からレーザー終了部直前の穴まではほぼ全面に残留凝固部が形成されており、終了部の穴に対する対策を要するものの溶接枚数に制限が無く溶接できることが分かる。

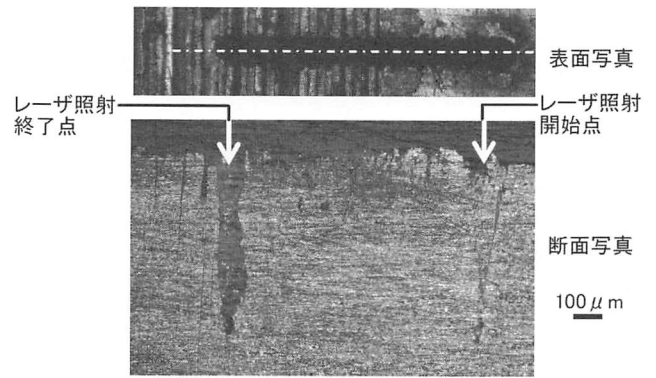


図4 $L_f=0\text{mm}$ における平行断面

3.3 走査速度の変化

走査速度を $v=1, 3, 5, 7, 9\text{mm/s}$ と変化させ実験を行った。図5に各走査速度と加工深さの関係を示す。走査速度を速くするにつれ加工深さが浅くなるが、走査速度 10mm/s でも約 $300\mu\text{m}$ の加工深さが得られる。製品サイズにもよるが箔厚の10倍程度の溶接部が形成出来れば実用化に支障はない。

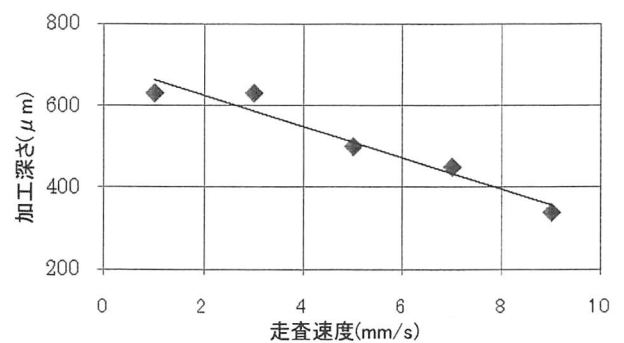


図5 各走査速度における加工深さ

4 結論

厚さ $30\mu\text{m}$ の積層アルミニウムに、箔積層端面方向からレーザーを照射しながら切断した実験で以下の結論を得た。

- $L_f=\pm 0.1\text{mm}$ の範囲ではレーザー切断した箇所に残留凝固部が全面に形成され、溶接を行うことができる。
- 積層端面方向からのレーザー照射では積層方向からのレーザー照射と異なり、積層枚数に制限なく溶接が行える。

参考文献

- 齋藤千春他:2008年度精密工学会九州支部福岡地方講演会講演論文集,(2008)65.
- 福本健吾他:2010年度精密工学会北海道支部学術講演会公演論文集,(2010)206.