

積層アルミニウム箔の Q_{sw}-YAG レーザによる切断接合

千葉工業大学 ○福本健悟, 吉岡俊朗, 宮崎俊行, 日本ケミコン(株) 久保内達郎

要 旨

レーザ切断はレーザ照射により形成された溶融体の除去により行われる。しかし、形成された溶融部全てが除去される訳ではなく、その内壁に残留凝固層厚さ(t)が残留する。Q_{sw}-YAG レーザによる切断では、 t はさらに薄くなると思われるが、厚さ $30\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を 10 数枚積層し、ガス吹きつけ無しで切断を行った所、切断壁面に箔厚さの 8 割程度の残留凝固層が形成された。この凝固層は、レーザ照射部で除去された微小溶融体が切断内壁に付着・堆積したものである。

1. 緒論

最近、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。たとえば、コンデンサーではアルミニウムの箔を積層にして電氣的に接合する要求があるが、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、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の大きな凝固収縮に起因するものと考えられる。著者らの一部は形成される溶融部の厚さを接合する箔厚のオーダーに抑えることがアルミニウム箔の接合の一つの方法であると提案した。

一方、レーザ切断はレーザ照射により形成された溶融体の除去により行われる。しかし、形成された溶融部全てが除去される訳ではなく、その内壁に溶融凝固層が残留する。この内壁に残留する凝固層厚さが、箔の厚さと同程度であれば、積層箔間の電氣的接合が可能であると考えられる。

一般的に切断には CW 発振を用いるが、本研究では装置の関係(出力不足のため)で、高ピーク出力が可能な Q_{sw}-YAG レーザを使用し切断を行う。Q_{sw}-レーザによる切断では、残留凝固層厚さはさらに薄くなると思われるが、切断時にガスジェットを使用しなければ、加工部内で除去される微小溶融物が切断内壁に付着することも考えられる。

本報告は、厚さ $30\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を複数枚積層し、積層面上方から Q_{sw}-YAG レーザ照射しながら走査させ、切断接合が可能かを検討したものである。また切断部側壁の残留凝固層厚さにつき、積層枚数及び走査速度の影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料および実験装置・実験条件

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、3~20 枚を積層したものである。装置は Q_{sw}-Nd:YAG レーザ発振機(SL114K)である。レーザ条件は Q_{sw}-周波数 2kHz、ピーク出力(P) 12.7kW、走査速度は $v=3\text{mm/s}$ 、焦点位置は積層箔の中間とした。走査速度を変化させて行う実験($v=1\sim 5\text{mm/s}$)では積層枚数は 10 枚で Q_{sw}-周波数は 3kHz である。

2.2 照射方法及び残留凝固層厚さ

積層箔は上下を溝穴付 SUS304 製ホルダで押さえつけ、レーザ走査方向は図 1 のように積層面に対し水平である。なお、このホルダは積層枚数を増やすと保持し難く、積層枚数 5 枚が限度である。

残留凝固層を調べるために、レーザ走査方向に垂直な断面を取り(以下垂直断面と呼ぶ)観察した。残留凝固層厚さ(t)は、箔間の残留凝固部分を、図 2 のように測定した。その測定位置は積層箔の上から数えて 1 枚目と 2 枚目の間の残留凝固層厚さを $t-1$ とし、以下 $t-2$, ..., $t-(n-1)$ (n : 積層枚数)とする。このとき、切断面を基準に左部材、右部材の $t-1\sim t-(n-1)$ を測定し、それらの小さい方を残留凝固層厚さとする。なお、分断されていない部分については、全残留凝固層の $1/2$ とした。

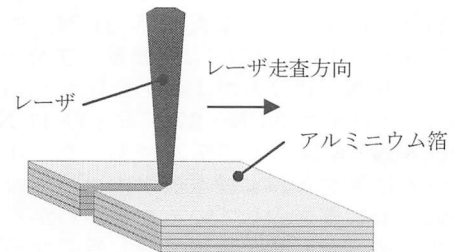


図 1 レーザ照射方法

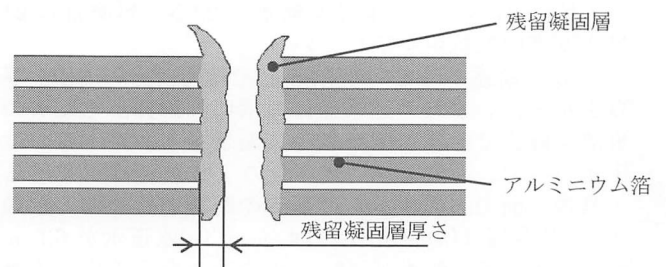


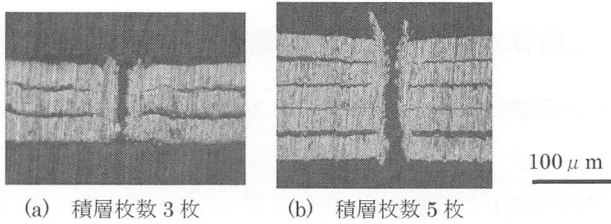
図 2 残留凝固層厚さの定義

3. 実験結果

3.1 レーザ切断接合 ($n=3, 5$)

積層枚数 3, 5 枚で切断を行ったときの垂直断面を図 3 に示す。本条件では全ての試料で切断状態にある。同図より切断部両壁に残留凝固層が確認できる。

$n=3$ の時での残留凝固層厚さは上方が約 $15\mu\text{m}$ で、下方が約 $20\mu\text{m}$ である。 $n=5$ の時、最小値が $t-4$ (最下方)の $15\mu\text{m}$ で平均的には $t=20\mu\text{m}$ 強であった。この結果のように、Q_{sw}-YAG レーザで照射しながら走査させることにより切断接合が可能であることが分かる。



(a) 積層枚数 3枚 (b) 積層枚数 5枚
 図3 残留凝固断面
 (P= 12.7kW, $v = 3\text{mm/s}$, 周波数 2kHz)

3.2 レーザ切断接合 (n=10, 20)

箔を20枚程度保持可能なホルダを作成し、3.1項と同条件で実験を行った。本条件で行ったn=20での切断では16~18枚が限界であった。図4に積層枚数10枚での垂直断面例を示す。本条件では全ての試料で下方まで切断できたが、2つに分断はできなかった。その時の残留凝固層厚さの測定結果を図5に示す。この時の残留凝固層厚さは最小値がt-9の20μm強であるが、平均的には25μm以上の残留凝固層厚さとなっている。上記の積層枚数3, 5枚に比べて残留凝固層厚さは若干大きくなった。このように、積層枚数が多くなると残留凝固層厚さは僅かではあるが大きくなる傾向にある。なお、表層に盛り上がり物がみられるが、これは、レーザー照射部から除去された微小溶融物が上方にも飛散するためと考える。

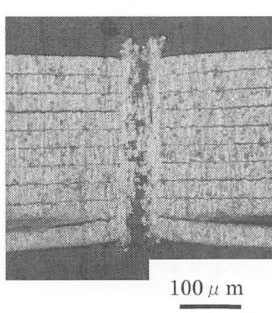


図4 残留凝固断面 (P= 12.7kW, $v = 1\text{mm/s}$, 周波数 3kHz)

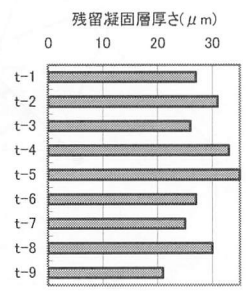
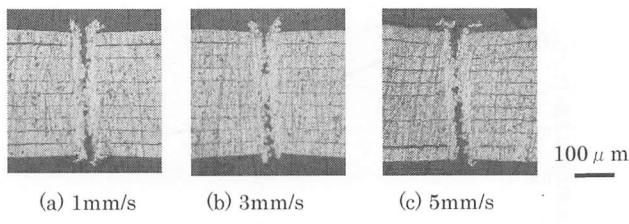


図5 前図の残留凝固層厚さ

3.3 走査速度の変化

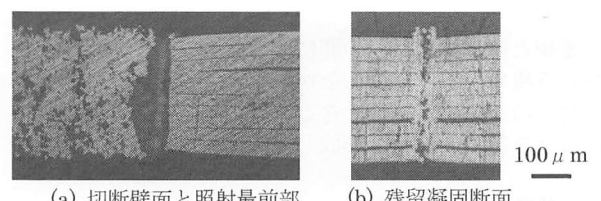
走査速度(v)を1~5mm/sと変化させて行った場合の垂直断面を図6に示す。1mm/sでは残留凝固層厚さが30μmを超えるものが半分以上有るが、3, 5mm/sでは残留凝固層厚さはやや小となる。しかし、いずれも箔厚の8割前後の残留凝固層厚さが得られ、目的とする接合に使用できると考える。



(a) 1mm/s (b) 3mm/s (c) 5mm/s
 図6 残留凝固層断面
 (P= 12.7kW, $v = 1\sim 5\text{mm/s}$, 周波数 3kHz)

3.4 切断面壁面の観察

切断した壁面を調べるために、図1の走査方向に対して平行に縦断面(以下、平行断面と呼ぶ)をとり観察した。結果を図7(a)に示す。同図(b)は同条件の垂直断面である。



(a) 切断壁面と照射最前部 (b) 残留凝固断面
 図7 切断壁面と照射最前部及び残留凝固断面
 (P= 12.7kW, $v = 3\text{mm/s}$, 周波数 5kHz)

同図(a)の縦断面位置は、同図(b)で説明すると、図の右方向から削り出した右側残留凝固層の一面である。

図(a)の中央部分はレーザー走査中に、レーザーを遮断したときの切断部の最前面である。最前面及びその直後には、残留凝固層は殆ど見られない。さらにその後方(左側部分)には、残留凝固層の面を示している。この面では、全面が一様に凝固金属で満たされていないが、この少し手前の削り面の観察では、完全に近い程度凝固金属で満たされていた。

一方、切断溝中央側に寄った削り面では、凝固層部はさらに疎らになり、さらに中央側の面では粒子状となって点在していることが観察された。

レーザー切断部近傍に配置したスライドガラスに付着した飛散粒子には、5~10μmのサイズのものも多数確認できた。これは図4の中央付近・上方部の盛り上がり部に見られる粒状物とほぼ同じサイズである。なお、上方からの観察では、最前部(図7(a)中央部)には20~30μmの貫通穴が見られ、上記の様に残留凝固層は殆ど見られない。これらのことから、後方の壁面の残留凝固層、また、上方部の盛り上がり部は、最前部で除去された溶融粒子が飛散し、付着・堆積によって形成されるものと考えられる。

4. 結論

厚さ30μmの積層アルミニウム箔のQsw-YAGレーザーによる溶接について検討し、以下の結論を得た。

- 1) Qsw-発振レーザーでの切断でも、その切断面に残留凝固層が形成され、接合できることが分かった。
- 2) 切断壁には箔厚の8割前後の残留凝固層が得られ、目的とする接合に使用できると考える。
- 3) 残留凝固層はレーザー走査によってできた壁面に溶融粒子が飛散・堆積し形成される。

参考文献

1) 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

謝辞

本研究にあたり、佐藤陽平氏(現：オグラ宝石工業株)、林隆太郎(現：株タマディック)、久保卓也氏、同鈴木悠大氏(本学、学部生)にご協力頂いた。お礼申し上げます。