

半導体レーザーによる超薄板の高速微細溶接技術

機械金属部 ○舟田義則 廣崎憲一 渡邊幸司

1. 目 的

電子銃や圧力センサなど溶接技術を利用して製造される電子部品や精密機械部品の多くは、近年の軽薄短小化や多機能化に伴って微細化が進み、それに伴って溶接に供される素材の大きさや厚みは加速度的に減少している。素材の厚さが薄いほど、溶接における高精度な入熱制御が求められる。それにはレーザー溶接が有効であるが、CO₂レーザーやYAGレーザーに代表される従来のレーザー溶接では、装置代やランニングコストの高さが問題視され、広く普及するに至っていない。

一方、電力効率が高く、取り扱いが容易なレーザー機器に半導体レーザーがある。従来、出力が小さいためにその利用は計測分野等に限られ、材料加工への応用には不向きとされている。しかし、素材が薄ければ加工に必要なエネルギーは少なくて済むはずであり、半導体レーザーの利用が期待できる。そうならば、従来のレーザー加工に比べて遙かにエネルギー効率の高い加工が可能になる。

そこで、本研究では、低コストレーザー溶接技術の開発を目的に、厚さ100 μ m以下の超薄板に対して半導体レーザーを用いて突き合わせおよび重ね溶接実験を実施し、超薄板溶接への適用性を検討した。

2. 内 容

2.1 突き合わせ溶接実験方法

超薄板の溶接技術の基礎として板厚100, 50 μ mのステンレス鋼箔(SUS304)の突き合わせ溶接実験を実施した。実験に用いたレーザーは、図1に示すSEPCTRA- PHYSICS社製500W級半導体レーザーシステムGTS500である。2枚の試料を突き合わせてジグにより固定し、このときのジグ間隙間を1mmとした。そして、図2に示すように突き合わせ部に半導体レーザーから発振される楕円状のレーザー光をそのままレンズで集光して照射し、その長軸方向に試料を送ることで溶接を試みた。なお、焦点位置でのビームサイズは、出力440Wにおいて1.8mm $\times$ 0.4mmである。

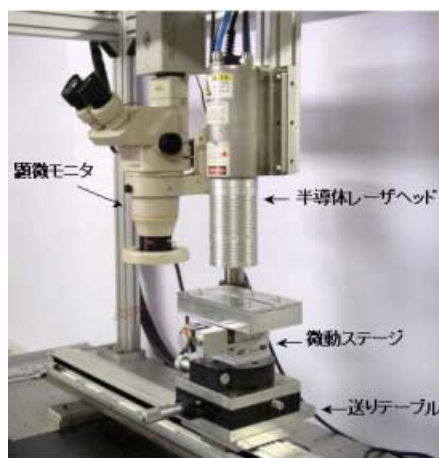


図1 半導体レーザーシステム

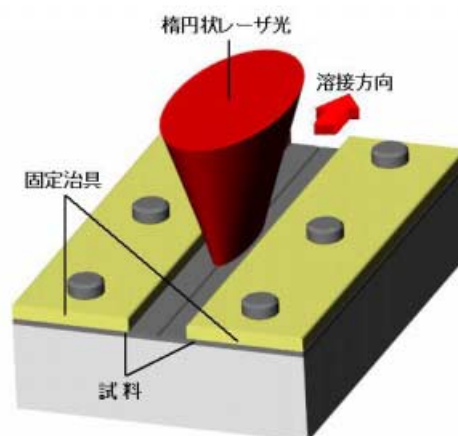


図2 突き合わせ溶接実験方法

2.2 突き合わせ溶接実験結果

図3は、板厚50 μ mのステンレス鋼箔を出力100W、溶接速度275mm/secの条件で突き合わせ溶接実験したときの溶接中の様子である。図中央部の輝点はレーザー照射部を示しており、アシストガスを使用しなくてもスパッタやプラズマの発生は見られず、穏やかな溶接が行われていることがわかる。このときの溶接サンプル外観写真と溶接部断面写真をそれぞれ図4(a), (b)に示す。溶接に伴う歪みがほとんど観察されない。溶接部の溶け込み形状は半楕円状を呈することから、半導体レーザーによる溶接は、レーザー溶接特有のキーホール型溶融ではなく、アーク溶接に多く見られる熱伝導型溶融が支配的な状態にあることがわかる。半導体レーザーによる溶接では、パワー密度はアーク溶接時よりも若干高いが、従来のレーザー溶接に比べて遙かに低いためである。

表1は、条件を変えて溶接した厚さ50 μ mのステンレス鋼箔サンプルを引張試験し、溶接部の引張強度を求めた結果である。引張り強度は、溶接条件に関係なく一定で、母材強度にほぼ等しい。これは、レーザー溶接で多く見られるポロシティやブローホールなどの欠陥が溶接部になく、また、滑らか溶接部表面が得られたためと考えられる。

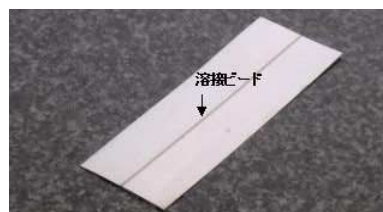
図5に溶接速度とレーザー出力との関係で表される溶接可能条件を示す。レーザー出力が高いほど溶接可能速度は大きく、板厚100 μ mでは出力300Wで、板厚50 μ mでは出力100Wで溶接速度が300mm/secの高速に達することがわかった。ビーム形状を楕円とすることで、溶け込み幅を狭く保ちながら素材に対して効率よく熱を与えることができるためと考えられる。

2.3 重ね溶接実験方法

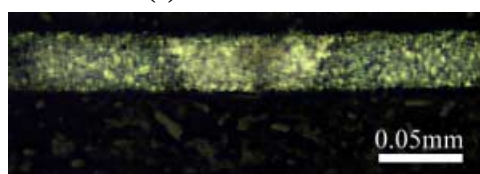
重ね溶接の場合、溶け込みが上側素材を貫通し、下側素材に到達することが重要であり、それには、パワー密度の高いレーザー溶接に見られるキーホール溶接が必要と言われている。しかし、上側素材の厚みが十分薄い場合には、



図3 半導体レーザーによる50 μ m厚ステンレス鋼箔の溶接中の様子
(出力100W、速度275mm/sec)



(a) サンプル外観



(b) 溶接部断面

図4 50 μ m厚突き合わせ溶接ステンレス鋼箔
(板厚出力100W、速度275mm/sec)

表1 50 μ m厚ステンレス鋼箔溶接部の引張強度

出力(W)	溶接速度(mm/sec)	強度(MPa)
50	125	1223
100	275	1241

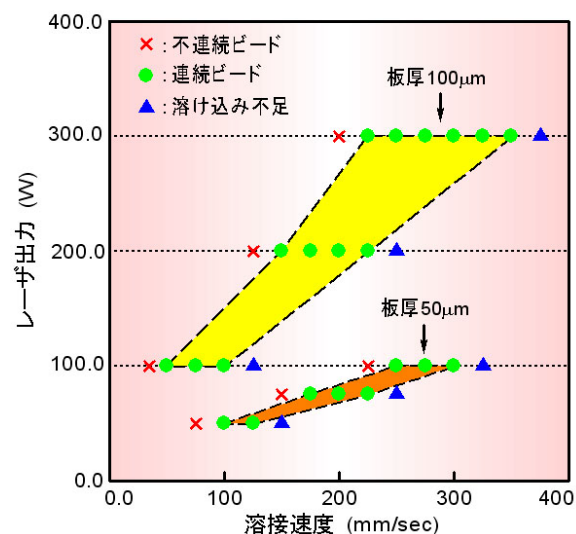


図5 半導体レーザーによるステンレス箔溶接可能条件

半導体レーザの適用が期待できる。そこで、厚さ2mmのステンレス鋼板(SUS316L)上への厚さ20 μ mのステンレス鋼箔(SUS316L)の重ね溶接を試み、厚板上への薄板重ね溶接に対する半導体レーザの適用性を検討した。

図6に示すように、厚さ2mmのステンレス鋼板(SUS316L)を基材とし、その上に厚さ20 μ mのステンレス鋼箔(SUS316L)を上重ねたサンプルをヒータ上に乗せ、透明な石英板で押さえて固定した。半導体レーザからの楕円ビームをそのまま熱源として用い、箔表面を焦点位置として集光するとともに、その長軸方向に送ることで溶接実験を行った。

2.4 重ね溶接実験結果

図7は、溶接速度500mm/secでレーザ出力350Wの下、ヒータによる予温度を変えて溶接実験した試料の断面を観察した結果である。予熱温度が373K以下の場合、溶け込みが基材にまで達していない。これに対して、予熱温度が423K以上になると、溶け込みが基材にまで達している。図8は、予熱温度による基材への溶け込み深さの変化を示している。レーザ出力が350Wと400Wのいずれの場合でも、予熱温度が高いほど溶け込みが深くなっている。これは、ヒータによる予熱の効果と考えることができ、その理由として、レーザ光吸収の増大や試料全体の昇温により、溶融に必要な入熱が少なくなることなどが考えられる。重ね溶接に対して予熱は効果的であり、半導体レーザなど低パワー密度熱源による熱伝導型溶接における溶け込み不足を解決する一手段であることがわかった。

溶接部の気密性を調べるため、図9のように中央に孔の開いた基材上に箔を重ね、孔を囲むように四方を溶接したサンプルを作製し、真空容器に取り付け、真空排気を行った。その結果、真空度が 10^{-3} Torr以下にまで到達し、溶接部において割れなどの欠陥が全くなく、真空下において優れた気密性を有することを確認できた。このことから、同技術がダイヤフラム式圧力センサ等の製造に応用可能であると考えられる。

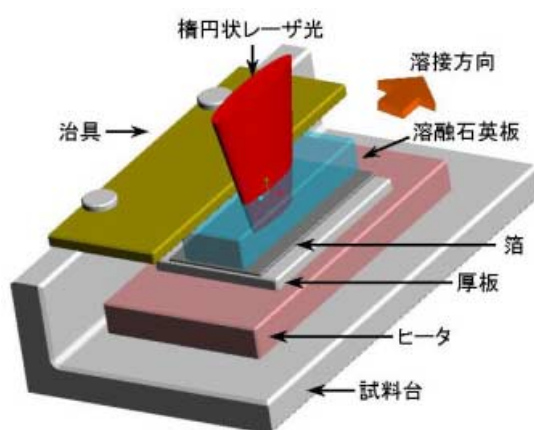
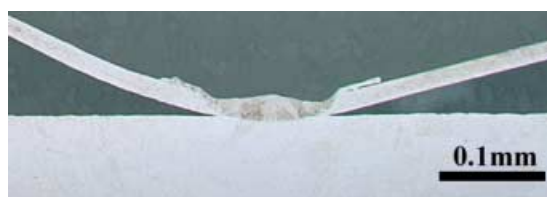


図6 重ね溶接実験方法



(a) 予熱温度373K



(b) 予熱温度423K

図7 予熱温度を変えて重ね溶接した20 μ m厚ステンレス鋼箔の溶接部断面

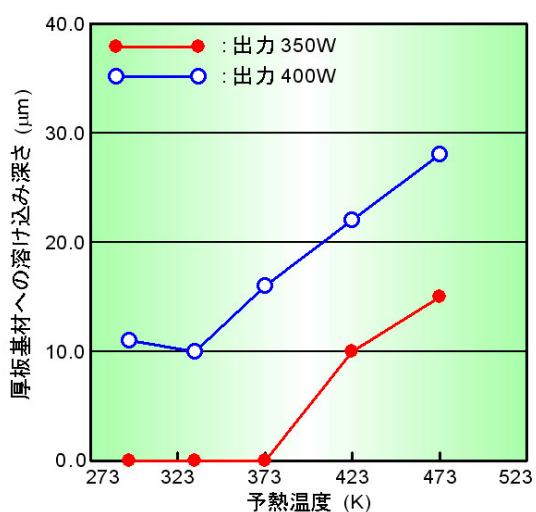


図8 予熱温度による溶け込み深さの変化

図10は、ヒータにより473Kで予熱したときの、重ね溶接可能条件範囲を求めた結果である。レーザー出力が高いほど、高速で溶接でき、レーザー出力350W以上のとき、溶接可能な速度は500mm/secまで達している。これは、半導体レーザーからの楕円状ビーム照射の効果と考えることができ、溶融幅を狭く維持したまま、溶接方向に大量に熱を与えることができるためと考えられる。

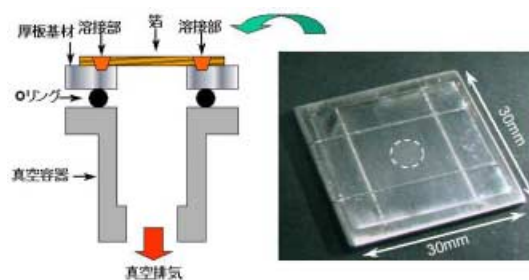


図9 真空中における20厚ステンレス箔重ね溶接サンプルの気密性試験方法

3. 結果

超薄板の溶接技術の開発を目的に、半導体レーザーを用いて厚さ100 μ m以下のステンレス鋼箔を対象に突き合わせおよび重ね溶接実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 半導体レーザーの楕円ビームを照射することによって、出力300Wで板厚100 μ mのステンレス鋼箔を、また出力100Wで板厚50 μ mのステンレス鋼箔を300mm/secの高速で突き合わせ溶接可能であった。
- (2) 半導体レーザーのパワー密度は低いため、その溶接は熱伝導型であり、スパッタやプラズマの発生のない穏やかなものである。また、溶接後のサンプルには歪みがほとんどない。
- (3) 厚さ2mmのステンレス鋼板上に厚さ20 μ mのステンレス鋼箔を重ね石英板で固定し、ヒータにより473Kに予熱することで、出力350Wの下、500mm/secの高速で重ね溶接が可能であった。
- (4) 溶接前の予熱によって重ね溶接時の溶け込みが深くなり、473Kの予熱で溶け込み深さが最大20 μ m深くなった。これは、熱伝導型溶接で溶け込みが浅くなりやすい半導体レーザー溶接にとって、溶け込み深さを増加させる有効な方法であることがわかった。

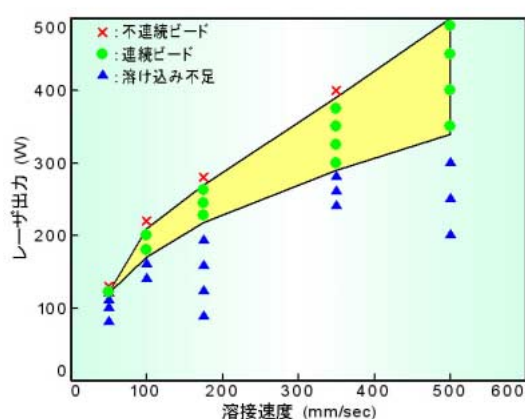


図10 半導体レーザーによる20mm厚ステンレス箔重ね溶接可能条件

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、適切なる指導や機器の貸与を頂きました大阪大学接合科学研究所阿部信行助教授に感謝します。