

氏 名	MAINA MARTIN RUTHANDI
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	工 学
学位授与番号	博甲第6053号
学位授与の日付	2019年 9月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	High-efficiency and High-quality Laser Welding of Difficult-to-weld Materials (溶接困難材料の高効率・高品位レーザー溶接)
論文審査委員	教授 岡田 晃 教授 藤井正浩 教授 大橋一仁
学位論文内容の概要	
<p>This thesis deals with laser welding of difficult-to-weld materials, specifically copper and aluminum alloys. In order to adapt laser welding to copper and aluminum alloys, improvements in efficiency and welding quality were investigated using pulsed Nd:YAG lasers and adjustable ring-mode (ARM) fiber laser.</p> <p>Experimental and numerical investigations of overlap welding of aluminum alloy were performed using ARM fiber laser. A method to stabilize the welding phenomena and improve penetration at a high welding speed was described. The influence of intensity distribution was clarified by evaluating the geometry and appearance of weld bead. In addition, the influences of supply direction and flow rate of nitrogen shielding gas were clarified. The weld bead was evaluated in terms of its width, height, penetration depth and surface roughness. High-speed welding without humping could be achieved by using appropriate intensity distribution of the laser beam. Dual-mode irradiation of center and ring power made it possible to stabilize the welding process. Center power helped to achieve sufficient deep penetration, while ring power ensured good temperature distribution. High-quality welding could be achieved in dual-mode welding, using appropriate low flow rate of shielding gas, supplied from the back.</p> <p>To improve efficiency and welding quality with 1064 nm Nd:YAG laser in copper micro-welding, techniques to enhance process stability have been proposed. Since the surface state of copper affects the absorption phenomena, effects of surface undulations, such as concave shape and surface roughness were investigated. In addition, processing by superposition of 532 nm and 1064 nm Nd:YAG lasers was numerically and experimentally investigated. The absorption rate and molten volume were increased by creating appropriate concaves, and by controlling the surface roughness. Stable micro-welding with deep penetration and good surface quality could be achieved under transitional processing condition between heat conduction and keyhole welding. In superposition, a short irradiation delay for 1064 nm laser, coupled with appropriate high power density of 532 nm laser, resulted in stabilization of absorption phenomena and increase of molten volume, and then high-quality welding of copper could be obtained.</p> <p>This research work presents unique techniques to achieve high-quality and high-efficiency welding of copper and aluminum alloy using lasers. Process stabilization in laser welding of aluminum alloy is achieved by control of intensity distribution, even at high welding speeds. In copper micro-welding, process stabilization is achieved by control of surface texture, and superposition of different and suitable laser wavelengths.</p>	

論文審査結果の要旨

本研究は、工業製品の軽量化に欠かせない比強度の高いアルミニウム合金、および効率的な電気エネルギー伝送に必要な銅を対象としたレーザー溶接に関するものである。アルミニウム合金および銅は光の反射率や熱伝導率が大きいためレーザー加工において溶接困難材料である。本研究ではこれらの材料に対する溶接特性とそのプロセスメカニズムを解明し、高効率・高品位なレーザー溶接を実現するための手法の開発に取り組んでいる。

アルミニウム合金のレーザー溶接に関しては、熔融金属の流れが乱れることによって表面品位低下が懸念されるような高速レーザー光走査においても、レーザースポットにおける中央部と外周リング部のレーザー光強度を独立して制御し適切なレーザー光強度分布を組み合わせることによって、溶接ビード部の表面粗さを低減しつつ大きな溶け込み深さが得られることを示した。また、近赤外光による高品位なレーザー溶接を実現するためには、窒素シールドガスをレーザー光照射部の後方より供給し、流量を酸化が抑制できる範囲で小さく設定することが有効である。さらに、外周リング部のみを出力するピュアリングモードと中央部と外周リング部の両方を出力するデュアルモードでは、総投入出力が同一であれば同様の溶接ビード深さになるものの、デュアルモードの方が熔融領域での熔融金属の流れを適正化することができ、良好な表面品位が得られることを明らかとした。

一方、銅のレーザー溶接では、光反射率が非常に大きな波長 1064nm のレーザー光を用いたとしても、予め深さ 30 μm 程度の凹形状、または最大高さ粗さ 30 μm 程度を試料表面に設けることで、熱伝導型溶接とキーホール型溶接の遷移条件という不安定な場合においてもレーザー光吸収率を安定的に向上させ、大きな熔融領域を形成できることを明らかとした。また、波長 532nm のレーザー光を照射してから 200 μs 程度後に波長 1064nm のレーザー光を照射開始することにより、波長 532nm のレーザー光で初期のキーホールを形成し、そこへ波長 1064nm のレーザー光を効率的かつ安定的に吸収させることが可能となることから、予め試料表面への凹形状を設けることなく、銅の高効率・高品位なレーザー溶接が実現できることを示した。

本研究によって得られた成果は、レーザー加工において溶接困難材料とされるアルミニウム合金や銅に対する高効率・高品位なプロセスを実現するために有益な知見であり、工学的・工業的価値が高い。よって、本研究は博士（工学）の学位に値するものと認められる。