

氏名	中芝 伸一
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4959号
学位授与の日付	平成26年 3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5条第1項該当)
学位論文の題目	パルス Nd:YAG レーザによるアルミニウム合金および銅の溶接メカニズムに関する研究
論文審査委員	教授 岡田 晃 教授 塚本眞也 教授 藤井正浩 准教授 岡本康寛

### 学位論文内容の要旨

本論文は、レーザ溶接における難加工材料であるアルミニウムと銅について、加工効率と品質の向上について検討したものである。

アルミニウム合金の加工効率を向上させるために、アルミニウムに対する吸収率が高い波長 808nm の連続発振 LD を重畳した LD 重畳ハイブリッド Nd:YAG レーザシステムを使用した。このシステムを用いた加工実験から、ピーク出力約 1.8kW のパルス Nd:YAG レーザに出力 50W の連続発振 LD を重畳することで、溶接ビード幅および溶込み深さを 20%以上増加させる効果が確認された。さらに、連続発振 LD を重畳したポストヒーティングの過程を高速度観察や数値解析により分析したところ、熔融池が高い温度に保たれながら緩やかに凝固し、レーザ照射スポット中央部が圧縮応力場に保たれた結果、クラックの成長が抑制されることが明らかとなった。また、熱伝導型溶接とキーホール型溶接の境界付近の加工現象についても検討を行い、連続発振 LD を重畳することで熱影響の少ない安定したキーホール溶接を行うことが可能であること、およびキーホールが形成される温度境界は試料表面温度が沸点を超えるか否かで判断できることが明らかとなった。

次に、銅に対する加工効率を向上させるために、銅に対する光吸収率の高い波長 532nm のレーザ光を発振するパルスグリーン Nd:YAG レーザ発振器を開発した。開発したレーザ発振器は、パルス発振 Nd:YAG レーザを波長変換することで得られ、電気-光変換効率 13%、基本波-第二高調波変換効率 55%と高い発振効率を実現した。このレーザ発振器を用いて銅の加工実験を行ったところ、前半に最大ピーク出力を有し、かつ 4.0ms とパルス幅の長いパルス波形を用いることで、欠陥が少なく溶込みの大きい良好な加工結果が得られた。これらの加工を積分球の内部で行うことにより試料の光吸収率を測定した結果、試料の光吸収率には波長および温度に対する依存性が見られた。波長 1064nm では温度や溶接形態によって光吸収率が大きく変化するが、波長 532nm ではその光吸収率の変化量が少なく、その値も波長 1064nm の約 2 倍程度であった。すなわち、波長変換により得られる波長 532nm のグリーンレーザにより、高効率で安定した銅の微細溶接が可能になることが明らかとなった。

## 論文審査結果の要旨

本研究は、アルミニウム合金および銅のレーザー溶接に関するものであり、レーザー溶接における難加工材料である両者の加工効率と品質の向上について検討したものである。

アルミニウム合金のレーザー溶接については、加工効率向上のためにアルミニウムに対する吸収率が高い波長 808nm の連続発振半導体レーザー (LD) を重畳する手法を提案した。その結果、連続発振 LD の重畳によって溶接ビード幅および溶込み深さが増加し、さらに溶接欠陥も低減する効果が確認された。溶接過程を高速度観察や数値解析により分析することで、レーザー照射による試料の温度や応力の変化を明らかにし、LD の重畳により溶接欠陥が抑制されるメカニズムを解明した。また、熱伝導型溶接とキーホール型溶接の境界付近の加工現象についても検討を行い、連続発振 LD を重畳することで熱影響の少ない安定したキーホール溶接が実現可能であることを明らかにした。

銅の溶接については、銅に対する光吸収率の高い波長 532nm のレーザー光を用いる手法を提案しており、このために Nd:YAG レーザを波長変換することにより得られるパルスグリーン Nd:YAG レーザ発振器を新たに開発した。開発した発振器は、世界初となるパルス発振 LD 励起の波長変換レーザーであり、高い電気-光変換効率、良好なパルス波形制御性、および高い出力安定性を実現した。このレーザー発振器を用いた銅の加工実験を通して、波長変換によって加工効率が大幅に向上すること、およびパルス波形の最適化により溶込み深さが大きく欠陥の少ない良好な溶接が得られることを明らかにした。さらに、これらの加工を積分球内部で実施して光吸収率を測定した結果、波長 1064nm では溶接形態によって光吸収率が大きく変化するが、532nm では光吸収率の変化量が少ないことから、波長変換が加工の安定性に大きく寄与する重要な要素の一つであることを解明した。

本研究は、新たな加工法に対して、レーザー発振器の開発から加工実験、数値解析、結果の評価に至るまで一貫して行われたものであり、様々な分野に渡る幅広い成果が得られた。これらの成果は、今後のレーザー発振器開発やレーザー溶接における革新的な技術として有効な資料を提供するものであり、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。