

Title	青色半導体レーザを用いたマルチビーム照射による飛行粉末均一加熱純銅クラディングに関する研究
Author(s)	森本, 健斗
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/92940">https://doi.org/10.18910/92940</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 (森本健斗)

## 論文題名

青色半導体レーザーを用いたマルチビーム照射による  
飛行粉末均一加熱純銅クラディングに関する研究

## 論文内容の要旨

カーボンニュートラル社会実現のために電気伝導性に優れた銅の需要が増加している。銅は超抗菌性を有していることから、人が触れるところに銅製品を用いることでウイルスリスクを低減できる。銅の使用量を抑えるために、鉄などの基材表層への銅皮膜の形成技術が求められている。レーザークラディングは基材にレーザーを照射して熔融池を形成し、そこに粉末を供給して皮膜を形成する技術である。レーザークラディングは熔融接合のため接合強度に優れた皮膜が得られる。しかしながら、レーザークラディングでは基材と粉末の成分が混ざり希釈層が形成される。希釈層では皮膜の性能が低下するので、希釈層を小さくすることが望ましい。希釈を抑えて皮膜を形成するには、熔融池の深さを小さくした熔融層で皮膜を形成する必要がある。熔融層に粉末を堆積するためには、粉末が均一に加熱された状態で基材に到達する必要がある。マルチビームレーザークラディングでは希釈層が10  $\mu\text{m}$ 以下の低希釈な純銅の皮膜を形成できる。しかしながら、産業的には供給した粉末のうち皮膜形成に用いられる割合(収率)の増加および皮膜形成速度の高速化が求められている。マルチビームレーザークラディングにおいて、収率および皮膜形成速度を向上するために飛行中の粉末の温度分布を考慮した皮膜形成プロセスの開発を目的とした。

第1章では、本研究の背景および目的であり、マルチビームレーザークラディングで低希釈な皮膜を形成するには飛行中の粉末を均一に加熱することが重要であることを述べた。基材に到達するまでの粉末の温度は、レーザースポット内で粉末が基材到達までにレーザーに加熱される距離(加熱距離)の分布および粉末の粒径に依存すること、および一般的なガスアトマイズ法で形成される粉末は幅広い粒度分布を有するので、粒径によって温度分布が生じることを示した。そのため、飛行中の粉末を全て熔融する理想的な皮膜形成プロセスおよび飛行中の粉末を一部熔融する皮膜形成プロセスを明かにすることが重要であることを述べた。

第2章では、1~6本のレーザーを用いたマルチビームレーザークラディングにおけるレーザースポット内の加熱距離を算出し、均一加熱の範囲および皮膜形成における掃引方向依存性を示した。レーザースポット内の加熱距離の数値計算を元に、飛行中の粉末の温度分布を考慮したマルチビームレーザークラディングの条件設定を行った。

第3章では、マルチビームレーザークラディングにおいて飛行中に融点以上となる粒径を算出し、その粒径以下の粉末を用いることで、飛行粉末熔融型レーザークラディングを行なった。本プロセスの収率および希釈を明らかにした。さらに、一部の粉末が融点に達する従来の皮膜形成実験より高い収率が得られたことから、収率の向上には飛行中に融点以上となる粉末を用いることが重要であることを示した。

第4章では、一般的な粒度分布を有するガスアトマイズ粉末を使用し、融点以下の粒径の粉末を皮膜形成に用いることを目的とした。飛行中に融点以上および融点以下の粒径が混在する粒度分布の粉末を用いることで、飛行中に熔融する粉末が基材上で熔融層を形成し、融点以下の粉末が熔融層にトラップされて皮膜を形成するプロセスを考えた。本プロセスを確認するために、飛行中に融点に達する粒径を取除いた粉末と飛行中に融点以上となる粒径を含む粉末で皮膜形成実験を行った。これらの粒度分布の粉末で形成した皮膜の成分分析結果は、低希釈な皮膜を形成するためには、融点以上となる小径の粒子が必要であることを示した。

第5章では、マルチビームレーザークラディングにおける皮膜形成速度の高速化を行った。高速で皮膜を形成するには飛行中に熔融する粉末の割合を増加して、基材への入熱量を増加する必要がある。粉末及び基材への入熱量を増加するにはレーザーのパワー密度が重要であり、レーザースポット位置におけるパワー密度を高めるために、3本の青色半導体レーザーを用いたマルチビームレーザークラディング装置を用いた。本装置を用いて皮膜形成速度100 mm/sで皮膜を形成し、低希釈な皮膜が得られる条件を明らかにした。

第6章は本論文の結言であり、青色半導体レーザーを用いたマルチビームレーザークラディングにおける収率の高い純銅の皮膜形成プロセスを述べた。青色半導体レーザーは鉄やニッケルなどの材料にも吸収率が高く、純銅以外の金属材料に青色半導体レーザーを用いたマルチビームレーザークラディングが応用できる可能性を述べた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 森 本 健 斗 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	塚本雅裕
	副 査	教授	赤松史光
	副 査	教授	近藤勝義
	副 査	准教授	佐藤雄二

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、複数のレーザを用いるマルチビームレーザクラディングにおいて、基材到達時の粉末の温度を算出し、粉末温度が銅皮膜形成の収率および希釈に及ぼす影響を明かにすることを目的としている。カーボンニュートラル社会実現に必要な電気自動車の主要構成部材である電気伝導性の優れた銅の需要が増加している。また、銅は超抗菌性を有していることから、人が触れるところに銅製品を用いることでウイルスリスクを低減できる。銅のような機能性材料の使用量を抑えるために、鉄などの基材表層への銅皮膜の形成技術が求められている。レーザクラディングは基材にレーザを照射して熔融池を形成し、そこに粉末を供給して皮膜を形成する方法である。レーザクラディングは熔融接合のため接合強度に優れた皮膜が得られる。しかしながら、基材と粉末の成分が混ざり希釈層が形成される。希釈層では皮膜の性能が低下するので、希釈層を小さくすることが望ましい。希釈を抑えて皮膜を形成するには、熔融池の深さを小さくした熔融層で皮膜を形成する必要がある。熔融層に粉末を堆積して皮膜を形成するためには、粉末が均一に加熱された状態で基材に到達する必要がある。マルチビームレーザクラディングでは飛行中の粉末を均一に加熱することができるので、SUS 基材上に膜厚数百  $\mu\text{m}$  で希釈層が 10  $\mu\text{m}$  以下の低希釈な純銅の皮膜を形成できる。しかしながら、マルチビームレーザクラディングは産業的に供給した粉末のうち皮膜形成に用いられる粉末の割合(収率)の増加および皮膜形成速度の高速化が求められている。マルチビームレーザクラディングにおいて、収率および皮膜形成速度を向上するためには飛行中の粉末の温度分布を考慮した皮膜形成プロセスの開発が重要である。本研究では、1~6本のレーザを用いた際の基材到達時の粉末の温度分布を算出している。算出した粉末の温度が融点以上の場合と融点以上と融点以下の両方を含む粉末を用いた場合の収率および希釈について調べている。さらに、マルチビームレーザクラディングのパワー密度を向上し、皮膜の高速形成技術について述べている。

第1章では、本研究の背景および目的であり、マルチビームレーザクラディングで低希釈な皮膜を形成するには飛行中の粉末を均一に加熱することが重要であることを述べている。基材到達するまでの粉末の温度はレーザスポット内で粉末が基材到達までにレーザに加熱される距離(加熱距離)の分布および粉末の粒径に依存することに注目している。一般的なガスアトマイズ法で形成される粉末は幅広い粒度分布を有するので、粒径によって粉末の温度分布が生じる。そのため、飛行中の粉末を全て熔融する理想的な皮膜形成プロセスおよび飛行中の粉末を一部熔融する皮膜形成プロセスを明かにすることが重要であることを述べている。

第2章では、1~6本のレーザを用いたマルチビームレーザクラディングにおけるレーザスポット内の加熱距離を算出し、基材到達時の粉末の温度分布および皮膜形成における掃引方向依存性を示している。レーザスポット内の加熱距離の数値計算を元に、3章以降の飛行中の粉末の温度分布を考慮したマルチビームレーザクラディングの条件設定が行われている。

第3章では、マルチビームレーザクラディングにおいて飛行中に融点以上となる粒径を算出し、その粒径以下の粉末を用いることで、飛行粉末熔融型レーザクラディングを行なっている。本プロセスの収率および形成された皮膜の希釈を明らかにしている。さらに、一部の粉末が融点に達する従来の皮膜形成実験より高い収率が得られ

たことから、収率の向上には飛行中に融点以上となる粉末を用いることが重要であることを示している。

第 4 章では、一般的な粒度分布を有するガスアトマイズ粉末を使用し、融点以下の粒径の粉末を皮膜形成に用いることを目的としている。飛行中に融点以上および融点以下の粒径が混在する粒度分布の粉末を用いることで、飛行中に熔融する粉末が基材上で熔融層を形成し、融点以下の粉末が熔融層にトラップされて皮膜を形成するプロセスを考えている。本プロセスを確認するために、飛行中に融点に達する粒径を取除いた粉末と飛行中に融点以上となる粒径を含む粉末で皮膜形成実験を行っている。これらの粒度分布の粉末で形成した皮膜の成分分析結果により、低希釈な皮膜を形成するためには、融点以上となる小径の粒子が必要であることを示している。

第 5 章では、マルチビームレーザクラディングにおける皮膜形成速度の高速化が行われている。高速で皮膜を形成するには飛行中に熔融する粉末の割合を増加して、基材への入熱量を増加する必要がある。粉末及び基材への入熱量を増加するにはレーザのパワー密度が重要であり、レーザスポット位置におけるパワー密度を高めるために、3 本の青色半導体レーザを用いたマルチビームレーザクラディング装置を用いている。本装置を用いて皮膜形成速度 100 mm/s において皮膜を形成し、低希釈な皮膜が形成される条件を明かにしている。

第 6 章は本論文の結言であり、青色半導体レーザを用いたマルチビームレーザクラディングにおける収率の高い純銅の皮膜形成プロセスを述べている。青色半導体レーザは鉄やニッケルなどの材料に対しても吸収率が高く、純銅以外の金属材料の皮膜形成にも青色半導体レーザを用いたマルチビームレーザクラディングが適用できる可能性を述べている。

以上のように、本論文は、マルチビームレーザクラディングにおいて青色半導体レーザによって加熱される純銅の飛行粉末の温度が収率および希釈に及ぼす影響を明かにするとともに、当レーザによる粉末の均一加熱の重要性を示したことから、今後のレーザクラディング技術開発に対し大きな貢献が期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。