

粉末床溶融結合法による金属粉末造形時の溶融部挙動の観察

金沢大学 ○宗景 健太, 金沢大学 ◎古本 達明, 江頭 郷太, 橋本 洋平, 小谷野 智広, 細川 晃

要旨

粉末床溶融結合法では、レーザ照射部で粉末が溶融・固化する過程で粒子状のスパッタが発生する。スパッタは造形面の悪化や造形物精度低下を引き起こす。本研究では、高速度カメラを用いて、レーザ照射部を可視化し、メルトプールの挙動やスパッタの飛散を検討した。その結果、メルトプールの周辺に粉末凝集領域が形成され、その領域にドロップレットが生じた。また、飛散するスパッタの割合が簡易的に算出できることを示した。

1. 緒論

積層造形法は、作成した3次元CADデータをもとに、薄い層を繰り返し加工し積み重ねることで立体形状を得る加工方法である。当初は試作品を迅速に製作することが目的であったが、使用する材料の開発や積層造形装置の発展に伴い、現在では航空宇宙、自動車、産業機器、生体材料、各種金型など幅広い分野へ適用されている。積層造形法の中でも、本研究の対象である粉末床溶融結合法は、土台となるベースプレート上に金属粉末を薄く堆積させ、レーザを走査させることで選択的に溶融・固化させていく方法である。粉末が溶融・固化する過程で、レーザ照射部からスパッタと呼ばれる飛散物が発生することが知られている。飛散したスパッタが造形物に付着すると、造形面の悪化や造形物の精度低下といった問題が生じる。本研究では、高速度カメラを用いてレーザ照射部を観察することで、溶融部の挙動やスパッタの飛散について検討し、飛散するスパッタの割合を簡易的に算出した。

2. 実験方法

本研究で用いた実験装置を図1に、実験条件を表1に示す。装置はレーザ発振装置、高速度カメラ、造形装置で構成される。波長が1070 nmである発振 Yb:ファイバレーザ(IPG Photonics 製: YLP-300-AC-Y11)を使用し、焦点距離が150 mmである集光レンズ

を用いて粉末床表面に焦点を合わせた。レーザは、垂直方向に対して35°の角度で照射し、粉末床表面でのビーム径は80×98 μmの楕円形である。レーザ照射の様子は、高速度カメラ((株)ナックイメージテクノロジー製: MEMRECAM Q1v)を照射部直上に設置し、レーザ照射領域を記録速度5,000 fpsで撮影した。レーザと高速度カメラの位置は固定し、精密ステージ(日本トムソン(株)製: CYLH220H-3030A/ Y0035)で装置全体を移動させることでライン造形を行った。金属粉末は平均粒径が25 μmであるマルエージング鋼を、ベースプレートは炭素鋼(S50C)を使用した。また、ベースプレート内部にヒータを挿入し、ベースプレート加熱の有無が造形に及ぼす影響も併せて調べた。造形中は、金属粉末の酸化を防止するため装置内を窒素で充填した。ベースプレートは、平均粒径が300 μmであるWA砥粒でサンドブラスト処理を施し、溶融粉末の濡れ性を改善した。ベースプレート表面に金属粉末を堆積し、スキージングブレードで平坦化して、粉末床の厚さを50 μmで統一した。

形成されたライン造形物とドロップレットは、触針式粗さ計((株)東京精密製: SURFCOM 2000DX2)を用いて形状測定を行い、それぞれの体積を求めた。ドロップレットの測定では、観察画像からドロップレットの平均直径を測定し、プロファイル測定で得られた高さ情報と併せることでドロップレットの体積を算出した。

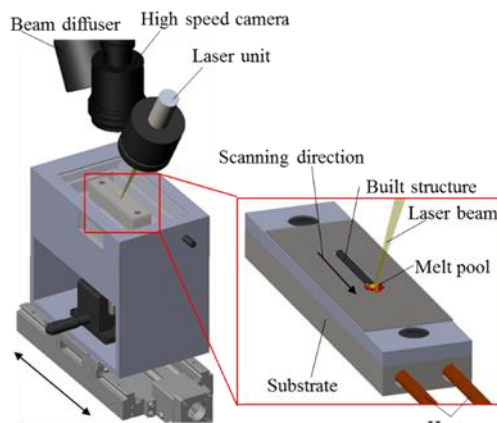


Fig.1 Experimental setup for the capture of melting powder

Table1 Experimental conditions

Laser irradiation		
Laser type		Yb-fiber laser (CW)
Wavelength λ	[nm]	1070
Laser power P	[W]	300
Scan speed F	[mm/s]	50
Spot size ϕ	[mm]	0.08
Layer thickness t	[mm]	0.05
Atmosphere of the chamber		Inert gas (N ₂)
Hatching space	[mm]	0.1, 0.2, 0.3
Base plate		
Material		Carbon steel
Thickness	[mm]	5
Surface roughness	[μm]	640×480
Temperature	[°C]	25, 100, 200
Metal powder		
Material		Maraging
Particle mean diameter	[μm]	25
Layer thickness	[mm]	0.05

また、プレート上に堆積させた粉末のかさ密度から、造形前に粉末凝集領域に存在した粉末全体の体積を求め、これらの差分から飛散したスパッタの体積を算出した。

3. 実験結果

3.1 溶融部挙動の観察

図2は、レーザ照射部の様子を観察した結果およびその模式図である。図に示すように、粉末床にレーザが照射されると、レーザ照射部を中心としてメルトプールが形成され、メルトプールの周辺には粉末が凝集した粉末凝集領域が形成された。レーザが通過すると、メルトプールが冷却されてライン造形物が形成された。また、粉末凝集領域にはレーザ照射に起因して溶融した粉末が、メルトプールに凝集されることなく留まることでドロップレットが形成されていた。一方、図3はメルトプールから飛散するスパッタの様子を示している。吸収された溶融粉末の一部がメルトプールからはじき出されることでスパッタが発生した。飛散したスパッタは、図4に示すように球状であり、それらの平均粒径は74.6 μm であった。

3.2 スパッタとして飛散した粉末量割合

図5は、触針式粗さ計から得られたライン造形物のプロファイルである。ライン造形物は、図に示すようにレーザ照射部中心部位が最も高い放物線状となった。この条件で、ベースプレート上面に得られた造形物の面積を算出したところ 0.0204 mm^2 であった。また、メルトプール周辺に形成されたドロップレットも同様にプロファイル測定を行い、得られたドロップレット高さと同様にプロファイル測定を行い、得られたドロップレット高さと同様にプロファイル測定を行い、得られたドロップレット高さと同様に観察画像からドロップレット形状を求めたところ、高さと同径の比が0.861となった。この結果から、ドロップレットの形成に対してプレートの溶融がほとんど寄与していないことが明らかとなった。

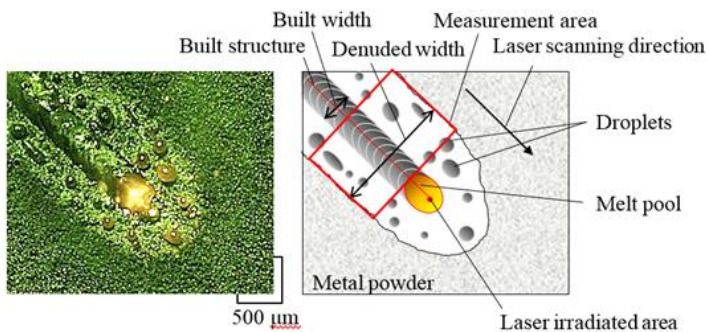


Fig. 2 Captured image of around the laser irradiated area

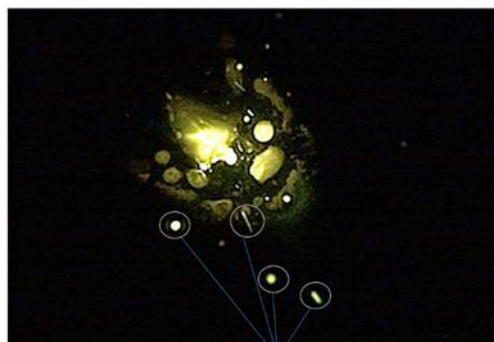


Fig. 3 Scattering of spatter particles

一方、造形前にプレート表面に堆積させた粉末厚さは 50 μm であり、これまでの研究で堆積粉末のかさ密度が 4260 kg/m^3 であることが分かっている。そこで、粉末凝集領域に存在した粉末全体の体積と、ライン造形物の体積およびドロップレットの体積をまとめた結果が表2である。表に示すように、プレート上に堆積させた粉末のうち、97.4%がライン造形とドロップレットの形成に用いられ、2.6%がスパッタとして飛散したことが明らかとなった。

4. 結論

本研究では、高速度カメラを用いて粉末床溶融結合法での溶融部挙動を観察し、溶融物の挙動やスパッタの飛散について検討した。以下に得られた結果を示す。

- (1) ライン造形ではレーザ照射部に粉末が凝集し、形成されたメルトプールが固化することで造形物を形成する。また、その過程で粒子状のスパッタが飛散する。
- (2) ライン造形物は放物線状であり、ドロップレットの高さと直径の比は0.861である。
- (3) 凝集した粉末量に対して、ライン造形物とドロップレットの形成に用いられた粉末量の割合は97.4%であり、スパッタとして飛散した粉末量の割合は2.6%である。

参考文献

- 1) 京極秀樹：積層造形技術の現状と応用展開，スマートプロセス学会誌，第3巻，第3号，(2014)，pp148-151

Table 2 The ratio of powder generated as spatter particles

The amount of powder agglutinated	[mm^3]	0.0344
formed as built structure		0.0204
formed as droplets		0.0131
generated as spatter particles		0.0009
The ratio of powder formed as built structure and droplets	[%]	97.4
generated as spatter particles		2.6

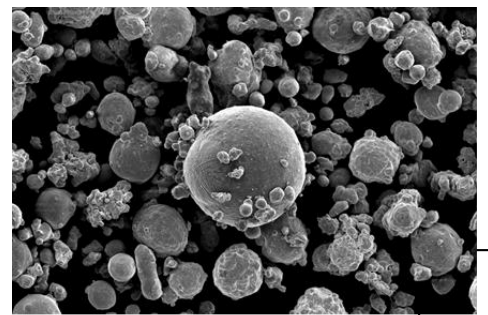


Fig. 4 Image of spatter particle

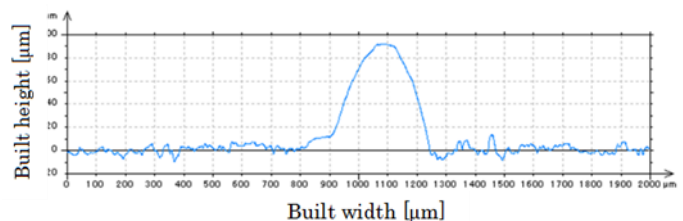


Fig. 5 Profile of built structure