

高硬度粉末の結合特性に関する研究：可視化による結合メカニズムの解明

著者	中野 洸二, 古本 達明, 橋本 洋平, 小谷野 智広, 細川 晃
著者別表示	Nakano Koji, Furumoto Tatsuaki, Hashimoto Yohei, Koyano Tomohiro, Hosokawa Akira
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2016 Spring
号	G76
ページ	553-554
発行年	2016
URL	http://doi.org/10.24517/00050602

doi: 10.11522/pscjspe.2016S.0_553



高硬度粉末の結合特性に関する研究 —可視化による結合メカニズムの解明—

金沢大学大学院・○中野洸二, 金沢大学・古本達明, 橋本洋平, 小谷野智広, 細川晃

Study on the consolidation characteristics of metal powder -Elucidation of consolidation mechanism by the visualization of laser irradiated surface-

Graduate school of Kanazawa University • Koji NAKANO

Kanazawa University • Tatsuaki FURUMOTO, Yohei HASHIMOTO, Tomohiro KOYANO, Akira HOSOKAWA

In this study, laser irradiation state is visualized by a high-speed camera. The influence of laser condition, such as power and laser scanning speed, on the consolidation of metal powder was investigated. In addition, the aspect of sputtered particles from the melt pool were evaluated. As results, consolidated state was found to be different in spite of same energy density. Scattering direction of sputtering was found to be related to the scanning speed. Counts of sputtered particles was found to be reduced when the scanning speed increase.

1. 緒言

ライフサイクルが短い製品は開発スピードが重要であり、開発者には開発時間の短縮とコストの低減が求められている。このような要件を満たすために開発されたのが粉末床溶融結合法である。粉末床溶融結合法とは、3次元データを層状の断面データに変換した後、薄く堆積させた材料に対して選択的にレーザー照射を行い、得られた層状構造物を幾層にも積み上げながら立体モデルを製作する手法である。従来の金型製作に比べて、大幅な開発時間とコストの削減が可能である¹⁾。しかし、従来の加工法と比べ、製品の品質が望ましい品質に達していない。品質の決定に影響を及ぼす造形条件が多くあるため、完成品の品質を調査した報告は数多く存在するが、粉末が固化するメカニズムに関する詳細な報告は少ない。本研究では、高速度カメラを使用して粉末にレーザーを照射する様子を観察し、結合メカニズムの解明を試みたので、以下に報告する。

2. 実験装置および実験条件

2-1 実験装置

実験装置の概略図を図1に、レーザー照射部の詳細図を図2に示す。本研究で用いた積層造形装置は、造形テーブル、粉末供給タンク、スキージングブレードが取り付けられている。造形テーブルと粉末供給タンクに付属するZ軸移動ステージを制御することで任意の厚さで粉末を敷くことができる。精密テーブル(IKO:CTLH220H-3030A/Y0035)上に設置し、レーザー(IPGフォトンクス:YLP-300-AC-Y11)は垂直方向から30°傾いた方向からベースプレート上に照射する。高速度カメラ(nac:MEMRECAM Q1v)は、ベースプレートに対して垂直に設置し、レーザー照射中の溶融・凝固の様子を観察した。

2-2 実験条件

実験条件を表1に示す。1ライン造形する際の様子を観察した。積層厚さは50 μm とし、レーザー照射時は試料の酸化を防ぐため、装置内に窒素ガスを充填した。溶融金属の接着力を向上させるため、ベースプレート表面はサンドブラスト処理を行った。

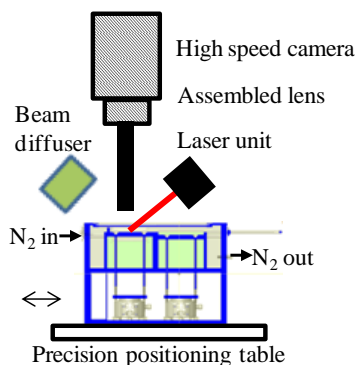


Fig.1 Schematic of the experimental apparatus

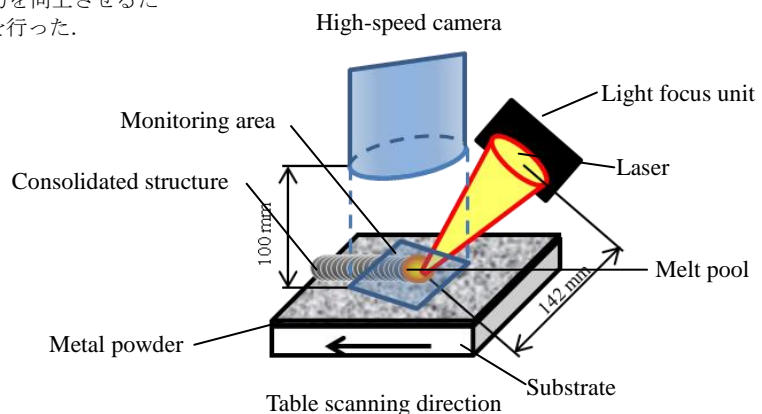


Fig.2 Close up of laser irradiated area

まず、レーザーパワーと走査速度がライン造形に与える影響を評価するため、エネルギー密度が同じ条件でレーザー照射を行い、照射部の様子を観察した。また、ベースプレートの溶融状態がライン造形に与える影響を調べるため、金属粉末を敷かないプレート上にレーザー照射した時の様子も観察した。

次に、走査速度の違いによるスパッタ数の変化を調べるため、レーザーパワーを固定し走査速度を変化させた条件でのレーザー照射状態を観察した。スパッタ数は、撮影画像を0.001秒ごとに50枚抜き出し、0.05秒間に発生したスパッタの合計数で評価した。この時、条件によりテーブル移動距離、ライン結合幅が異なるため、単位造形面積(テーブル移動距離[mm]×ライン結合幅[mm])あたりに発生したスパッタ数[counts/mm²]で評価した。また、粉末の凝集性を評価するため、レーザーパワー200W、走査速度50、200mm/sの条件の高倍率観察を行った。得られた動画及び画像から、粉末の収集・飛散方向を観察し、スパッタ数との関連を調べた。

Table 1 Experimental conditions

Laser irradiation	
Laser type	Yb: fiber (CW)
Wavelength [nm]	1070
Beam diameter [μm]	50
Laser power [W]	100, 200, 300
Table speed [mm/s]	16, 33, 50, 75, 100, 200
Layer thickness [μm]	50
Consolidation type	Single line
Atmosphere of the chamber	Inert gas (N ₂)
High-speed camera	
Frame rate [fps]	10000
Resolution	384 × 228

3. 実験結果および考察

3-1 レーザパワー、走査速度が造形に与える影響

各条件でレーザー照射した時の撮影画像を図3に示す。エネルギー密度が同じであるにも関わらず、各条件の結合状態が異なった。レーザーパワー100Wの条件では粉末の熔融は見られたが、照射部に凝集せずに細かく球状に固化しラインが造形できなかった。レーザーパワー300Wの条件では粉末が熔融するとともに、照射部に凝集することでラインが造形できた。

以上の原因を調べるため、金属粉末を敷かないプレート上にレーザー照射した。撮影画像を図4に示す。レーザーパワー100Wの条件ではベースプレートが熔融できないことがわかった。粉末のみの熔融では、熔融された粉末同士の表面張力により、近くの粉末のみで凝集してしまいベースプレートの密着性によりその場で固化してしまうため、粉末がレーザー照射部に凝集しきれずにラインが造形できなかったと考えられる。レーザーパワー300Wの条件ではベースプレートが熔融できており、粉末に対して比較的大きな熔融部が確認できた。熔融部の表面張力が支配的になり周囲の粉末が凝集することでラインが造形できたと考えられる。このことから、ベースプレートを熔融させるためにはレーザーパワーが重要であり、その熔融部が造形に大きな影響を与えると考えられる。

3-2 走査速度とスパッタ数の関係

走査速度とスパッタ数の関係を図5に示す。図からわかるように走査速度が速くなるにつれて単位造形面積当たりのスパッタ数が減少した。

走査速度の違いによるレーザー照射部を比較した結果を図6に示す。スパッタの飛散方向も併せて示している。図から、走査速度の違いによってスパッタの飛散方向が異なる様子がわかる。走査速度が50mm/sのとき、スパッタは図6(a)に示すようにレーザー照射方向に飛散しているのに対して、走査速度が速くなるにつれて飛散方向が次第に照射方向後方にシフトした。これは、レーザー照射に起因した熔融部の位置と熔融した粉末の凝集性に起因すると考えられる。堆積した粉末表面にレーザー照射すると、照射部中心から粉末が熔融され始め、その熔融領域は同心円状に広がっていく。そして、熔融した粉末同士が凝集して大きな熔融物を形成する。このとき、レーザー照射位置は前方に移動するため、レーザーの通過後に熔融粉末が冷却されてプレート上に固化する。これらの過程で熔融部に取り込まれなかった粉末がスパッタとして飛散していると考えられる。撮影結果からも、熔融してレーザー照射部中心付近に凝集してきた熔融粉末が弾かれる様子が観察された。

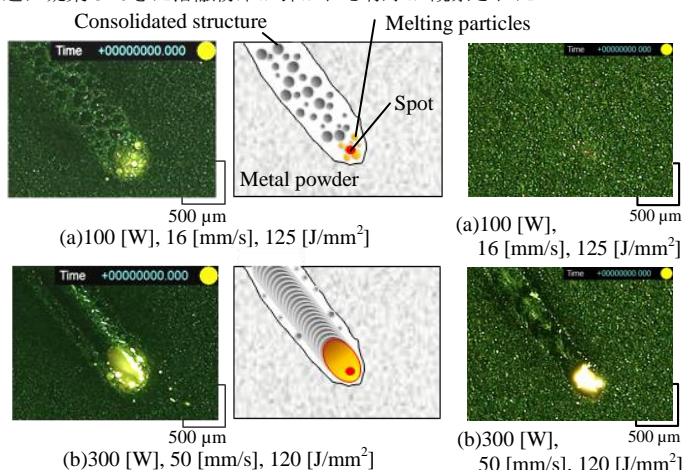


Fig.3 Picture/Schematic of laser irradiation

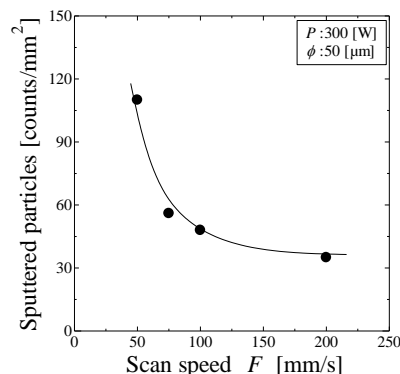


Fig.5 Variation of sputtered particles with scan speed

粉末が動き出してから熔融部に取り込まれるまでの時間と位置関係を図7に示す。図から、粉末の移動速度が変化していることがわかる。図7(a), (b)間の移動量に対し図7(b), (c)間の移動量が多いため、粉末は加速して熔融部に取り込まれることがわかった。

熔融部の高倍率観察結果を図8に示す。粉末の凝集方向も併せて示してある。図から走査速度の違いによって粉末の凝集方向が異なる様子がわかる。走査速度が遅い場合、熔融部の前方に加速された粉末が取り込まれていることが確認できた。これらの粉末が弾かれてスパッタになるため、前方に多くスパッタが飛散したと考えられる。走査速度が速い場合、熔融部の前方だけでなく側面、後方にも粉末が取り込まれていることが確認できた。熔融部の移動速度が速いため、前方にある粉末は加速される前に巻き込まれていると考えられる。熔融部の移動により巻き込まれない位置にある粉末は、加速された時には熔融部が進行しているため、熔融部の後方に取り込まれていると考えられる。これらの粉末が弾かれてスパッタになるため、後方に多くスパッタが飛散したと考えられる。

以上より、スパッタは加速された粉末が熔融部に取り込まれる時に弾き返されることで発生していると考えられる。走査速度が遅い場合、熔融部に集まる粉末のほとんどが加速されたものであり、弾かれやすいためスパッタ数が増加したと考えられる。走査速度の速い場合、熔融部の移動により加速する前に巻き込まれる粉末が多く存在するため、スパッタ数が減少すると考えられる。

4. 結言

本研究では、金属粉末へのレーザー照射した時の観察を行い、結合メカニズムの解明を試みた。得られた結果を以下に示す。

- (1) エネルギー密度が同じでも結合状態は異なる。
- (2) スパッタの飛散方向は走査速度に依存する。
- (3) 走査速度が速い条件では単位造形面積当たりのスパッタ数が減少する

参考文献

- 1) 阿部諭, 他: 金属光造形複合加工法の開発, 精密工学会誌, 73,8(2007)912

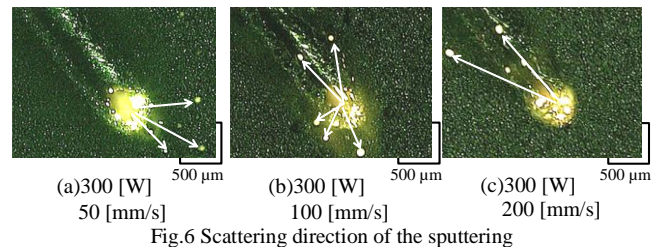


Fig.6 Scattering direction of the sputtering

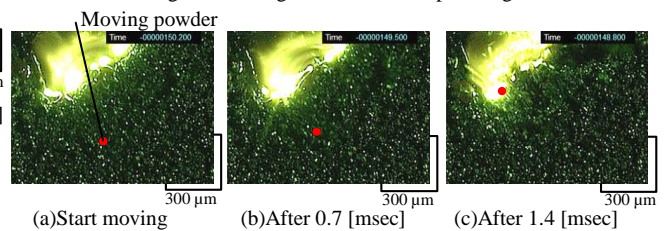
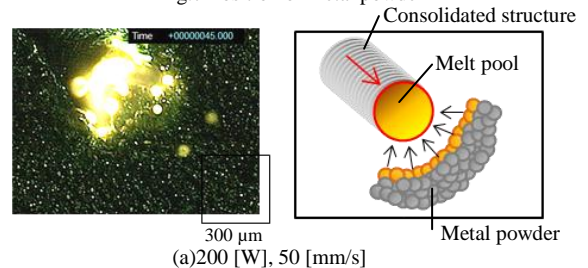
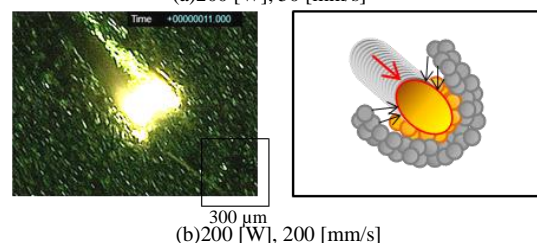


Fig.7 Position of metal powder



(a)200 [W], 50 [mm/s]



(b)200 [W], 200 [mm/s]

Fig.8 Powder aggregation direction