

金属積層造形時における変形抑制技術の検討 (第1報)

戸田 敦基
TODA Atsuki*

要旨 金属3Dプリンタでは、高出力レーザーで金属粉末を熔融させ、それを基材となる金属表面へ積層することで造形を行っている。1,000℃以上への温度上昇が想定される造形物が冷却される過程で、内部応力の蓄積による完成品の変形(びずみ)が問題となっているが、抑制手法や現象の詳細検証は行われていない。これらの課題解決のためには、現象の正確な把握や、様々な試験が必要となる。本研究は、この応力ひずみ抑制について課題解決手法を見出すものである。

1 緒言

金属付加造形技術として知られる指向性エネルギー堆積法(以下、DED法)は、安価な基材表面へ必要箇所に絞って機能性を付加でき、製造コストの削減や、環境負荷低減へつながる技術として注目されている¹。しかし、現状の本方式による造形のみでは、高精度な仕上がりにはならず、切削や研削等の仕上げ加工を行うことが前提となっている技術である。パウダDED法は、局所的にレーザーを照射し、金属が堆積される下地材料(以下、基材)を熔融させ、この部分に金属粉末を供給することで造形を行っている²。この積層過程において、基材および造形物にはレーザー照射による膨張や収縮が生じ内部応力が蓄積される。それにより基材の変形が発生する。その変形は、造形物以外の箇所の加工を含めた仕上げが必要になること、造形中に基材が動いてしまい狙い位置の加工ができないこと等、工程に広く影響を与えることとなる。

本研究では、パウダDED法における基材変形に着目し、その基礎検討として丸棒基材の変形挙動に関する調査を行った。

2 実験

2.1 造形方法

実験装置は、ファイバーレーザーを搭載したレーザーヘッド(Z軸)および2軸ステージ(X-Y軸)を備えたLAMDA200(ニデックマシンツール社製)に、ロータリーテーブル(A軸)を設置した付加1軸構成とした(図1)。また、積層造形中はアルゴンガスによる局所的な不活性雰囲気とした。供試材は、粉末・基材材料ともにSUS316Lとした。造形による金属組織の変態が変形に及ぼす影響を最小限に抑えるため、本材料を選定した。基材はΦ16mmの丸棒とした。造形物の外観を図2に例示する。

本実験では、レーザー出力とレーザー走査速度をパラメータとした。また、式(1)で表されるエネルギー密度³ $E[J/mm^2]$ を参考にパラメータを決定した。

$$E = P / (v \cdot d) \times 60 \quad (1)$$

P :レーザー出力[W] v :レーザー走査速度[mm/min]

d :レーザースポット径[mm]

エネルギー密度は、先行実験結果⁴から、 $P1000W$ 、 $v800mm/min$ での $E0.625J/mm^2$ を基準とし、これに等しいエネルギー密度の表1に示すA~Dの4条件にて実験を行った。 d はΦ2mmとした。また、粉末供給量は、走査速度800mm/minで9g/minを基準とし、単位面積あたりの供給量が一定となるように設定した。造形物は図3に示す6つのライン(3往復)を5層積層して造形した。長手方向の走査距離は70mm、隣接ビードのオーバーラップは1mmで一定とした。

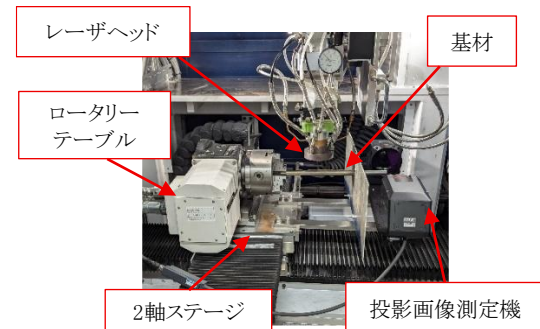


図1 実験装置の外観

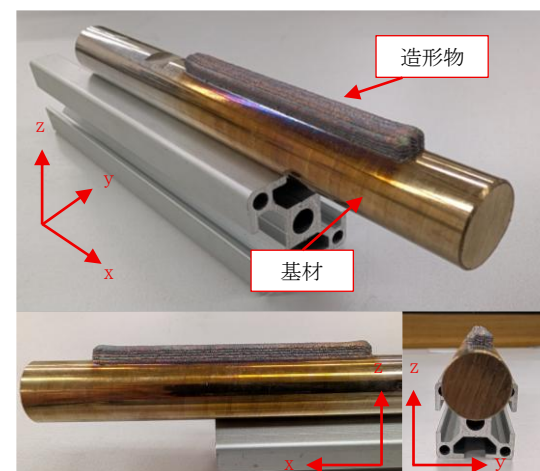


図2 パウダDEDによる造形物の例

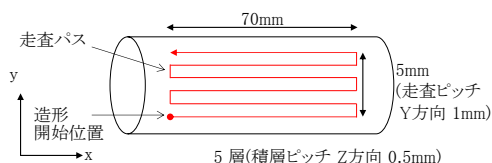


図3 実験時の造形パス

条件	A	B	C	D
レーザ出力[W]	1000	800	1200	1400
走査速度[mm/min]	800	640	960	1120

表1 造形条件

2.2 変形評価方法

本研究では、座標軸を丸棒軸方向にX軸、鉛直方向にZ軸とし、レーザはZ軸の正から負に向かって照射した。基材の変形の測定には、3Dスキャナ ATOS Core200 (GOM社製)を使用した。変形は以下の方法により評価した。まず、図4に示す様に、得られた3D測定モデルに対して、X軸に垂直な断面を5mm間隔で抽出した。次に、それらの各断面に対して、最小二乗法による円近似を行い、円の中心のZ座標方向の変位により変形を評価した。抽出断面の円近似には積層部以外を用いた。

変形の経時変化を観測するために、投影画像測定器 TM-5065 (KEYENCE社製)を使用した。図5に示すように、投影方向はY軸に平行とし、丸棒先端の造形側(上端)の投影点座標(X, Z)の、造形開始から冷却までの変化を評価した。また、レーザ出力の時間変化を同時に収集し、変形挙動と同期させた。

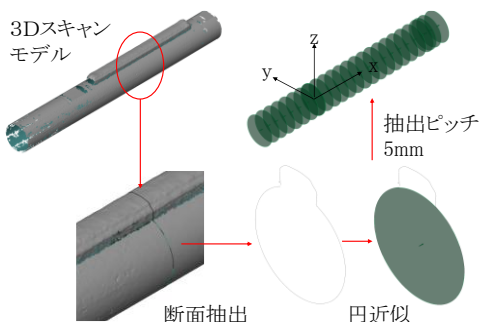


図4 3Dスキャナでの変形測定方法

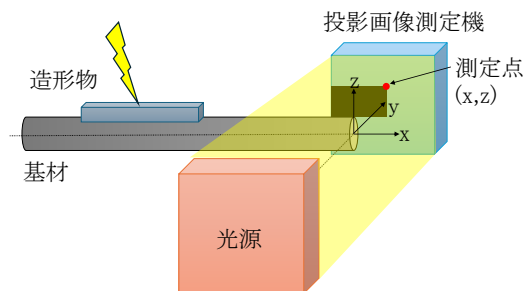


図5 投影画像測定機での変形測定方法

3 実験結果および考察

図2で示した造形物は条件Aにて積層造形を行ったもので、その寸法は、長さ71.6(71.4~71.8)mm、幅6.6(6.4~6.6)mm、高さ2.7(2.4~3.1)mmであった。()内はB~Dの範囲を示す。造形パスに対して、造形物はビード径大きく造形された。丸棒の変形量を図6に示す。いずれの条件においても変形は $X=0$ mmの位置から単調増加している。条件A~Cの場合は、いずれも同様の変化をした。これはエネルギー密度一定により同じ影響が現れたように見える。しかし、条件Dの場合は、それより大きな変形をしていることがわかる。このことから、エネルギー密度とは別の要因があると考えられる。

次に、変形挙動の経時変化を図7に示す。造形開始を時刻0とし、丸棒($\Phi 16$ mm、長さ300mm)の上端の初期位置を8mmとした。レーザ出力が断続的に急減しているのは、各層間の切替わりで照射が停止しているためである。本研究では、条件Aで検証を行った。実験時間は室温までの冷却過程として約60分としたが、特徴的なZ軸の変形挙動である造形開始から約4分を抽出している。はじめ(1層目)鉛直下方向に変位しており、これは図6で示した最終的な変位の方向とは逆向きに変形していることを表している。これは丸棒上面が局所的な温度上昇に伴う膨張によるものと推測される。このZ方向の変位は周期的な上下を繰り返すが、徐々に正の向きへ大きくなり、造形終了後、冷却過程に入った30秒程度の内に、大きな塑性変形が生じた。

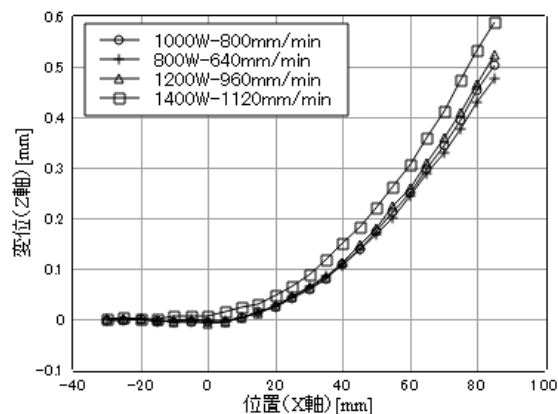


図6 丸棒の変形

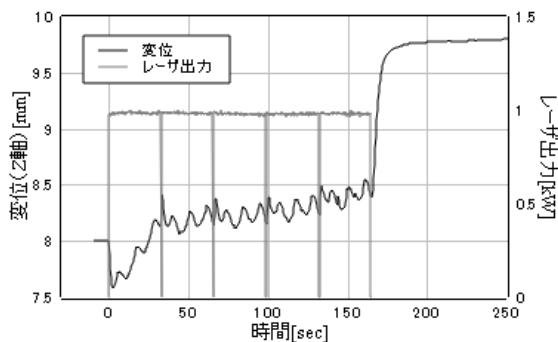


図7 丸棒の変形挙動の経時変化

4 まとめ

パウダDED法による積層造形における変形に関する基礎検討として、ステンレス鋼丸棒上にブロック形状を造形した際の変形挙動について調べた。結果、本実験条件においては造形後にレーザ照射側に塑性変形する傾向があることがわかった。

参考

1. 日刊工業新聞社, 型技術2025/2, 2025, P52-59
2. 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM), ~設計者・技術者のための~金属積層造形技術入門, 2016, P71
3. 同上, P82
4. 斧督人 柳澤研太, 滋賀県工業技術総合センター, 令和元年度(2019年度)業務報告, 2029, P76-85