

レーザー+ワイヤによる AM における点造形物形状の高精度化

埼玉大学 ○角田 侑也, 三菱電機株式会社 荻島 駿, 橋本 隆, 埼玉大学 ◎阿部 壮志, 金子 順一

要旨

熱源としてレーザーを用い、材料となるワイヤを熔融、積層するレーザー+ワイヤによる AM において、断続的にレーザーの照射およびワイヤ材料の挿入を行う点造形を提案している。この点造形において造形物両端点の高さが低くなり、形状精度が低下する問題がある。そこで本研究では点造形物の形状を高精度化させるため、造形物の高低差を減少させる補正方法を提案した。結果として材料総供給量に対する有効体積は 5.75%上昇した。

1. 緒言

現在、機械部品の製造において材料を付加することにより除去加工と比較して材料総供給量の削減が期待できるアディティブマニュファクチャリング (Additive Manufacturing : AM) と呼ばれる技術が注目を集めており、その中に指向性エネルギー堆積法 (Directed energy deposition : DED) に分類されるレーザー+ワイヤを用いた方法が存在する。この方法は熱源となるレーザーをワイヤと母材に照射し、熔融したワイヤを母材に積層することで所望の形状を造形するものである。

このレーザー+ワイヤ AM においてレーザーの照射とワイヤの挿入を断続的に行って造形する点造形を提案している¹⁾。この方法は従来のレーザーの照射とワイヤの挿入を連続的に行う方法と比較して、造形物および母材に蓄積される熱量が減少し、形状精度の向上を望むことができる。しかし、薄板形状などの端部が存在する造形物を点造形する場合、造形物両端点(図 1: First point, Last point)は熔融金属滴下位置の形状と表面張力、重力の影響により造形物高さは低くなり、形状精度が低下するという問題がある²⁾。

そこで、本研究では基礎的な形状である薄板形状の造形物を対象とし、レーザー+ワイヤによる AM の点造形において、造形物両端点に追加で点造形を行うことで造形物の高低差を減少させる補正方法を提案し、その方法の妥当性を評価した。

2. 造形物の高低差に対する補正方法

2.1 点造形物

造形物両端点と中間部分(図 1: middle points)の高低差を調査するため、積層実験を行った。その造形物を図 1 に示し、造形条件を表 1 に示す。また、使用機械を図 2 に示す。前述の通り、図 1 のように点造形において造形物両端点が低くなって丸まり、造形物の形状が悪化するという問題があった。2 次元レーザー変位計で測定したこの造形物の造形物両端点と中間部分の層ごとの高さの変化を図 3 に示す。

図 3 より造形物両端点の 1 層当たりの積層高さが中間部分より低いため、造形物の同一層における高低差が徐々に拡大していることが分かる。また造形物高さの上昇値はどの測定点においても、2 層目以降、ほぼ一定である。この図における造形物高さ変化の近似直線の傾きが、2 層目以降の 1 層当たりの積層高さを示している。各測定点における 1 層当たりの積層高さを表 2 に示す。

2.2 補正方法

造形物始端点(図 1: First point)、終端点(図 1: Last point)の積層高さが中間部分と等しくなるように、積層高さを補正する方法と

して、(a)ワイヤ供給速度や供給時間を増加させることで積層する材料総供給量を増加する方法、と (b)追加で点造形する方法、の 2 つが考えられる。しかし、前者では入熱条件を変更する必要があるためほかの積層点とは溶け込み幅および造形物幅が変化し、形状精度が悪化することが予測される。そのため本研究では入熱条件を変えず、温度サイクルの変化も少ない、(b)を採用する。また、温度サイクルを一定に保つために、補正の点造形の後、同一点への造形の前に 45 秒間の待機時間を設ける。

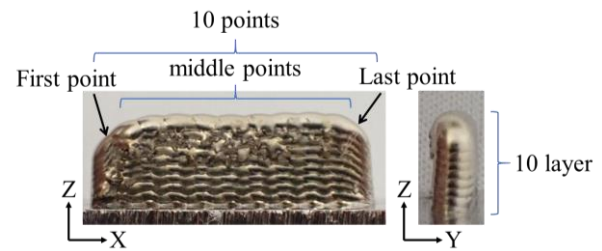


Fig. 1. Shape of the object

Table 1. Process condition

Laser output	[kW]	1500
Wire supply speed	[mm/min]	737
Laser irradiation time	[sec]	0.3
Horizontal pitch	[mm]	2.3
Wire material		Inconel718
Wire diameter	[mm]	1.2
Base plate material		SUS316

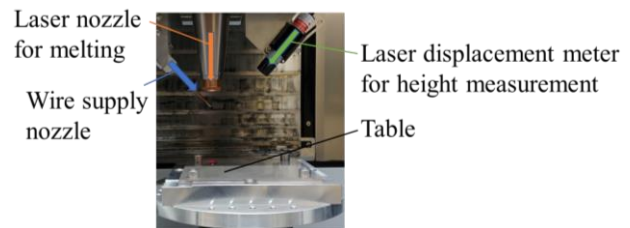


Fig. 2. AM machine

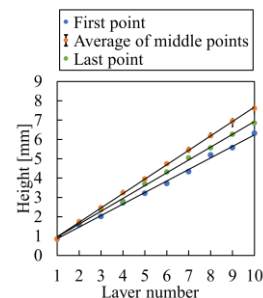


Fig. 3. Each layer height of the object

Table 2. Height per layer and first layer height

point's position	Height per layer	First layer height
First point	0.60	0.85
Average of middle points	0.75	0.86
Last point	0.66	0.84

2.3 補正のタイミング

造形物始端点、終端点と中間部分の高低差が、1層当たりの積層高さを超える直前に、始端点および終端点に追加で積層を行う。造形物始端点、終端点と中間部分の1層当たりの積層高さ変化を、表2のようにそれぞれ0.60, 0.66, 0.75とし、1層目の高さを、0.85, 0.84, 0.86とする。このとき予測される造形物両端点と中間部分の高低差は図4のようになる。造形物始端点では4, 8層目で、終端点では8層目で補正積層を実施する。補正を実施すると図4の矢印のように、高低差が低減すると予測される。この補正を行う場合の予測される造形物始端点、終端点、中間部分の高さの変化を図5に示す。

3. 補正の検証

3.1 評価方法

本研究では直方体の造形物を想定した積層経路となっているが、造形物両端点の丸まりによって造形物から取り出せる直方体の体積は小さくなる。また、追加で点造形を行うことで補正を行うため、補正無しの場合と補正有りの場合では材料総供給量が異なる。

そこで本研究では、造形物が包含し得る最大の直方体を有効体積とし、これを材料総供給量で除した有効体積率をもって評価した。また有効体積の算出方法として、造形物厚さ(Y軸方向)が最大となるときの最大高さ(Z軸方向)、長さ(X軸方向)はヘッドの移動量(20.7mm)とし、これらの値を乗算した。造形物形状は2次元レーザ変位計で測定した。

3.2 造形結果・考察

補正有りの場合の造形を行い、検証実験を行った。図6に補正有りの場合の造形物の高さの変化を示し、実際の造形物および造形物の有効体積の領域を図7に示す。また、実験結果より得たそれぞれの場合の造形物始端点、終端点、中間部分の高さおよび有効体積と材料総供給量、有効体積率を表3に示す。

表3より、補正有りの場合は補正無しの場合より造形物始端点は0.43mm上昇し、終端点は0.64mm上昇しており、有効体積率は5.75%上昇していることが分かる。また、造形物始端点と中間部分の高低差は0.39mm減少し、終端点と中間部分の高低差は0.60mm減少している。図6の8層目に注目すると、補正によって造形物始端点と中間部分の高低差は小さくなっている。以上の結果から、造形物高さは本研究の補正方法によって改善可能ながことが明らかになった。しかし10層目において造形物始端点と中間部分の高低差は、予測では0.17mmだったのに対し、実際は0.89mmであった。これは、補正によって造形物形状が変化し、溶融池の領域が拡大し、幅方向に造形物が流れたためと考えられ、補正の積層位置をずらすことで対策可能であると考えられる。

4. 結言

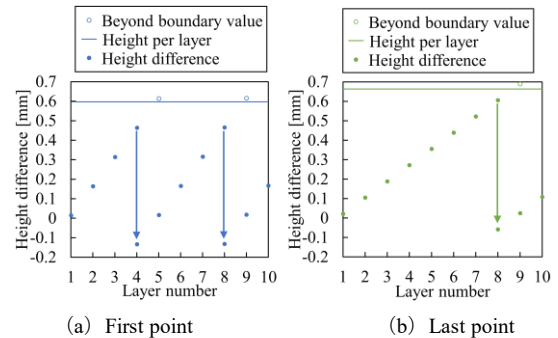
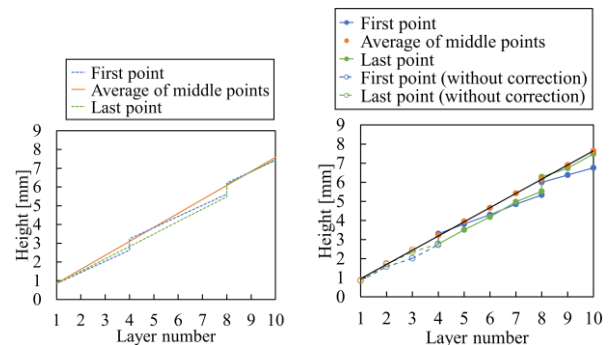
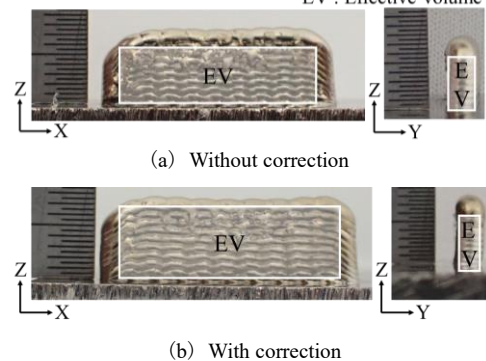
本研究では造形物両端点に追加で点造形を行うことで、造形物の高低差を減少させ、形状精度を向上させる補正方法を提案した。結果として提案した補正方法によって高低差は造形物始端点で

0.39mm、終端点で0.60mm減少し、有効体積率は5.75%上昇した。

参考文献

1)三菱電機株式会社：部品造形・肉盛補修など幅広い用途で生産性を向上 金属三次元造形を高精度化する点造形技術を開発、<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2018/pdf/1023.pdf> accessed 2020. 1. 29

2) Yongzhe Li, Qinglin Han, Guangjun Zhang, Imre Horváth : A layers-overlapping strategy for robotic wire and arc additive manufacturing of multi-layer multi-bead components with homogeneous layers, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 96 (2018) 3331

**Fig. 4.** Correction timing**Fig. 5.** Estimation of each layer height**Fig. 6.** Experimental results with correction**Fig. 7.** Modeling result**Table 3.** Height per layer

Presence of correction	without correction	with correction
First point [mm]	6.33	6.75
Average of middle points [mm]	7.61	7.64
Last point [mm]	6.85	7.49
Effective volume [mm ³]	416.76	429.27
Insertion volume [mm ³]	274.28	307.20
Utilization volume ratio [%]	65.81	71.56