

# 金属積層造形物の特性把握

## Understanding characteristics of components fabricated by Additive Manufacturing

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 安齋弘樹、仲沼岳、松浦和俊  
応募企業 株式会社ミウラ

ワイヤーク式金属積層造形（以下、WAAM 方式とする）により作製した金属積層造形物の特性を把握するため、積層条件の違いによる内部空孔への影響及び機械的特性を調べた。今回は 2 種類の条件でステンレス鋼を積層し比較した結果、内部空孔の発生及び機械的特性に差はみられなかった。また、機械的特性は、いずれの条件においても SUS316L 及び SUS317L と同等の強度を有していた。

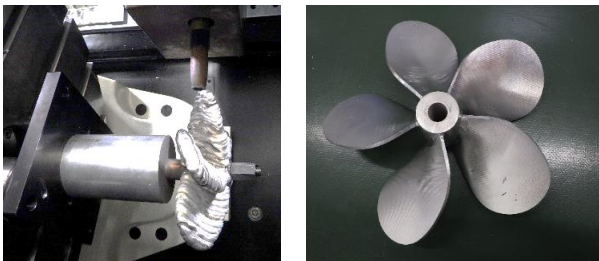
**Key words:** 金属積層造形、WAAM、機械的特性、内部空孔

### 1. 緒言

南相馬技術支援センターでは、5 軸切削加工と WAAM 方式のハイブリッド加工機を用いた金属積層造形によるロボット部品の開発を進めている。WAAM 方式は、金属ワイヤをアーク放電により熔融、固化させて金属を積層造形する方式であり、多様な金属を使用できる、造形速度が速いといった特徴を有している。これまでの研究において、アルミニウム合金によるスクリーブプロペラ形状を作製し、切削加工と比べて加工時間及び除去重量ともにメリットのある結果を得た<sup>1)</sup>。図 1 に作製したスクリーブプロペラ形状の外観を示す。

上記研究では、形状を作製したが、製品への利用を考えた場合には、引張強度等の物性評価が必要となる。また、アルミニウム合金を積層造形した際には内部空孔の発生が多くみられており、これによる引張強度等の機械的特性の低下や仕上げ加工時の表面粗さへの影響が懸念される。

そこで本研究では、ステンレス鋼積層時の空孔発生の有無及び引張強度、0.2%耐力及び伸びを調査した。

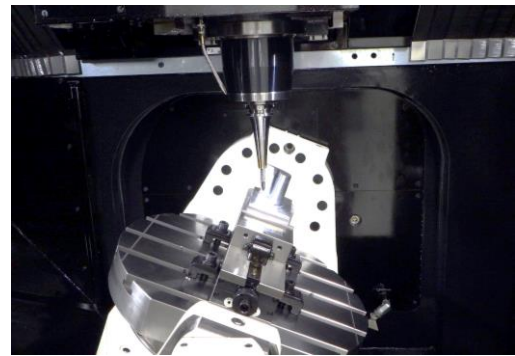


(a) 積層造形の様子

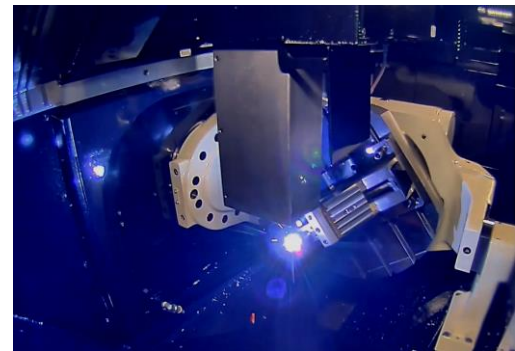
(b) 切削加工後

図 1 昨年度作製したスクリーブプロペラ形状の外観

は、座標をトーチ先端に切り替えることで、切削加工と積層造形を同一の座標系で行うことができる。ここで、実験に用いた金属積層造形の NC データは、OPEN MIND 製の hyperMILL を用いて作成した。図 2 に切削加工時及び積層造形時の加工の様子を示す。



(a) 切削加工の様子



(b) 積層造形の様子

図 2 加工の様子

### 2. 実験装置

装置は、ヤマザキマザック（株）製のハイブリッド複合加工機 VARIAXIS j-600/5X AM ワイヤーク式を用いた。本装置は、5 軸切削加工に加え、MIG 溶接機による金属積層造形が可能である。また、積層造形時に

事業課題名「金属積層造形物の特性把握」

### 3. 空孔の評価

#### 3. 1. 実験方法

ワイヤは、直径 1.2mm の（株）タセト製 MG316L を用いた。MG316L 及び類似の組成である SUS316L 及び SUS317L の化学成分を表 1 に示す。なお、MG316L はメ

メーカーカタログの数値、SUS316L 及び SUS317L は JIS G4303 の数値である。

積層条件による内部空孔の発生の有無を調べるため、表 2 に示す 2 種類の条件を設定した。これらは、積層造形時の幅が 10mm 程度となる条件であり、単位長さ当たりの積層体積が同じとなるようにトーチ送りを変えている。S50C のベースプレート上に、トーチを直線上に 40mm 送り 1 層目を造形し、2 層目以降はその上に積層した。トーチ送り方向は、図 3 のように 1 層毎に反転した。また、ベースプレート及び直前の積層造形物（以下、母材とする）における温度の影響を確認するため、1 層毎に 3 秒冷却または 20 秒冷却の 2 種類の積層造形物を作製した。内部空孔の評価には、東芝 IT コントロールシステム（株）製 X 線 CT 装置 TOSCANER-24500AVFD を用いた。

表 1 化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
MG316L	≦0.03	≦0.65	1.0~2.5	≦0.03	≦0.03	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	≦0.75
SUS316L	≦0.03	≦1.00	≦2.0	≦0.045	≦0.03	12.0~15.0	16.0~18.0	2.0~3.0	-
SUS317L	≦0.03	≦1.00	≦2.0	≦0.045	≦0.03	11.0~15.0	18.0~20.0	3.0~4.0	-

表 2 積層条件

	条件1	条件2
電流 [A]	190	243
電圧 [V]	13.0	13.8
ワイヤーフィード [m/min]	6	9
トーチ送り [mm/min]	400	600
シールドガス	Ar+O <sub>2</sub>	Ar+O <sub>2</sub>

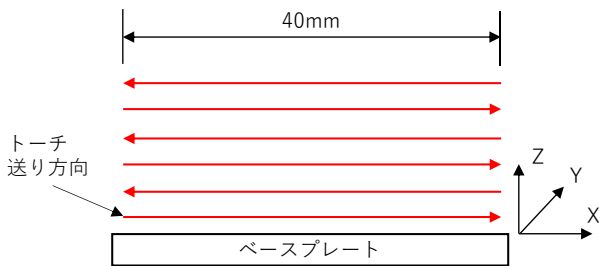


図 3 積層造形のトーチのパス

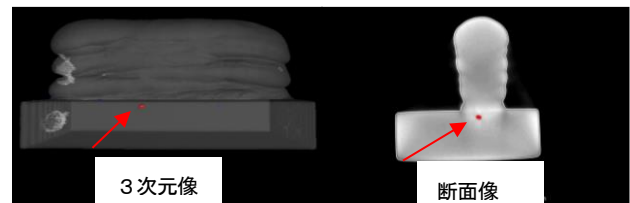
### 3. 2. 結果

積層造形物の外観を図 4 に、X 線 CT の 3 次元像及び空孔付近の YZ 平面における断面像を図 5 に示す。なお、空孔は矢印の箇所に発生している。すべての条件において、発生した空孔はベースプレート内部であり、積層造形物には大きな空孔の発生は確認できなかった。空孔は 1 層目積層時に、ベースプレートが熔融した際に、発生したとみられる。2 層目以降には空孔が見られないことから、母材温度が低いことが影響していると考えられる。今回は、積層造形部の機械的特性評価

が目的のため、ベースプレート部に発生した空孔の検討は実施しない。



図 4 積層造形物の外観



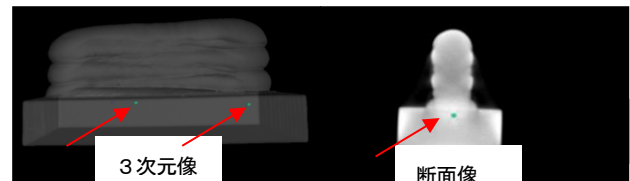
(a) 条件 1 冷却時間 3 秒



(b) 条件 1 冷却時間 20 秒



(c) 条件 2 冷却時間 3 秒



(d) 条件 2 冷却時間 20 秒

図 5 積層造形物の内部観察結果

次に積層造形物の形状を比較する。冷却時間が 20 秒の場合は、1 層から 6 層まで比較的同じ幅（Y 方向の厚み）で積層されているが、3 秒と短い場合は、上部ほど幅が広がっている。これは、上部ほど積層前の母

材温度が高いため、積層した金属にダレが発生したためである。なお、冷却時間が20秒後の積層造形物の温度は、赤外カメラFLIR Systems製FLIR ONE Proを用いて測定したところ、約100℃であった。計測時の様子を図6に示す。

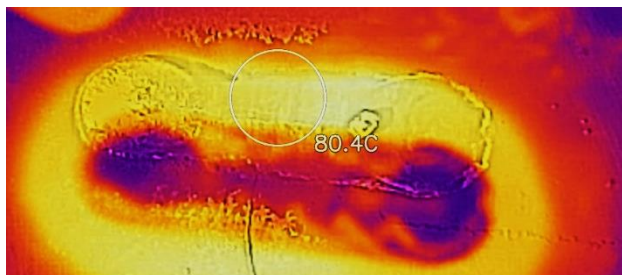


図6 温度計測の様子

## 4. 機械的特性の評価

### 4. 1. 実験方法

積層造形物の引張強度、0.2%耐力及び伸びを求めた。

引張試験片は図7に示す13B号試験片とし、S50Cのブロック上に幅145mm、高さ150mm程度の立壁を積層し、図8に示すようにワイヤ放電加工機により試験片形状を切り出した。その後、フライス盤による積層造形時の凹凸除去、サンドペーパーによる加工変質層の除去を行い仕上げた。

積層方法は、トーチの送り長さを145mmとした以外は前述3.1.と同じとし、積層条件は条件1及び条件2の2種類とした。また、前述の結果より、ダレが発生せず、同じ幅で積層できるように、母材温度が100℃程度にまで冷却した後に積層を行っている。

引張試験には(株)島津製作所製AG-100KNXPlusを用いた。

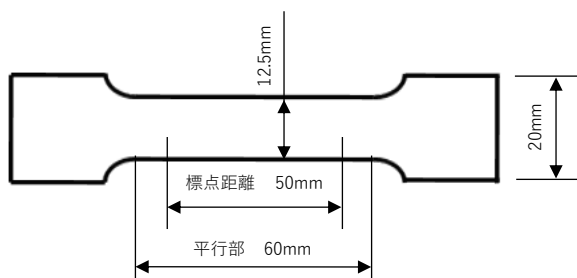


図7 試験に用いた引張試験片の形状

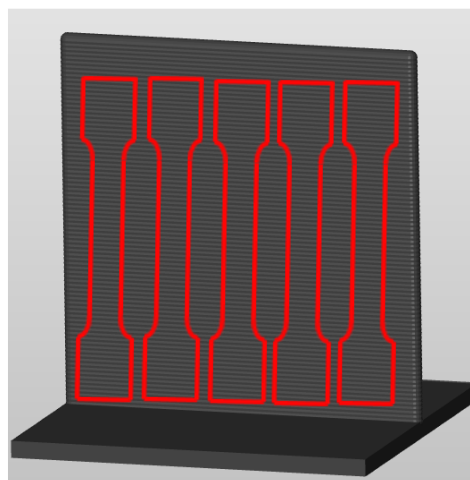


図8 引張試験片の様式図

### 4. 2. 引張試験結果

図9に積層造形物、図10に作製した試験片、引張試験の結果を表3に示す。なお、試験片は各条件5個とし、比較としてJIS G4303に規定されているSUS316L及びSUS317Lの機械的性質も併せて示す。

条件1及び条件2の引張強度は、いずれも550N/mm<sup>2</sup>程度、0.2%耐力が290N/mm<sup>2</sup>程度、伸びが35%程度と、大きな違いはみられなかった。また、SUS316L及びSUS317Lと比較すると、積層造形物の引張強度、耐力は同等以上の値であったが、伸びは劣る値であった。

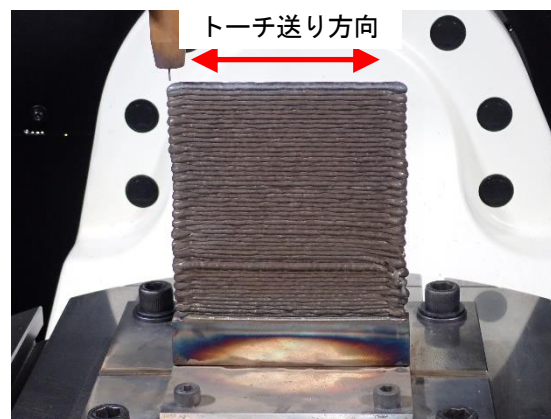


図9 試験片作製用に積層造形した形状



図10 作製した引張試験片

表3 引張試験結果

	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )			0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )			伸び (%)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
条件1	552	555.6	549.0	288	293.4	279.0	33	36.7	30.2
条件2	540	548.3	518.2	290	315.7	274.4	36	37.4	34.2
SUS316L	480以上			175以上			40以上		
SUS317L	480以上			175以上			40以上		

## 5. 結言

MG316L を用いて作製した積層造形物の特性把握として、引張試験の実施及び内部空孔を評価し、以下の結果を得た。

- ・電流及び電圧を変化させた2つの条件で作製した積層造形物には、大きな空孔の発生はみられなかった。
- ・機械的特性として評価した引張強度、0.2%耐力及び伸びの値にも、積層条件による違いはみられなかった。また、SUS316L 及び SUS317L と比較すると、引張強度及び0.2%耐力は同等以上の値であったが、伸びは劣る値であった。

## 参考文献

- 1) 安齋弘樹. “複雑形状加工時の切削加工と金属積層造形のコスト比較”. 令和2年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. pp. 21-24.