

DED 方式堆積造形による金属製ワインボトルの試作

須藤 貴裕* 田村 信* 中村 一夫*

Prototyping of a Metal Wine Bottle by Directed Energy Deposition

SUTOH Takahiro*, TAMURA Makoto* and NAKAMURA Kazuo*

抄 録

DED 方式堆積造形を用いた SUS316L 製ワインボトル形状の造形を試み、レーザ出力や積層ピッチなどの最適造形条件を検討した。その結果、高さ 270mm、最大直径 103mm、厚さ 1.5mm（設計寸法）のボトル形状を、所要時間 200 分で再現性良く造形できることを確認した。コストやリードタイムなどの詳細な評価は今後の課題であるものの、DED 方式は従来の切削加工や塑性加工の代替として、あるいはこれらとのハイブリッドによる製品試作工法としての活用が期待される。

1. 緒 言

金属 3D 積層造形技術は、様々な方式の研究開発が国内外で活発に進められ、社会実装も進展しつつある技術である。従来の切削加工や塑性加工の代替として、同技術を活用した製品試作などへの期待が高まる一方で、装置や材料粉末が高価であること、ならびに造形条件の最適化が難しいことから、中小企業が単独で新規導入するにはハードルが高い技術でもある。

こうした背景を踏まえ、公益財団法人にいがた産業創造機構が主催する次世代デジタルものづくり研究会・金属 3D 積層造形分科会では、会員企業からテーマを募集し、設計から後加工・評価までの一連の工程に取り組む「造形トライアル」事業を実施している。

本報告では、DED(Directed Energy Deposition)方式堆積造形を用いて、同事業に応募された金属製ワインボトル（図 1）を試作造形した際の造形条件および造形に要した時間などの基礎データを報告する。

2. 造形装置

造形にはパウダ DED 方式堆積造形装置 LAMDA200（ニデックマシンツール(株)製）を

使用した。最大造形サイズは 200mm×200mm×200mm である。図 2 に造形部の模式図を示す。造形ヘッドの先端中央から照射されるレーザ光

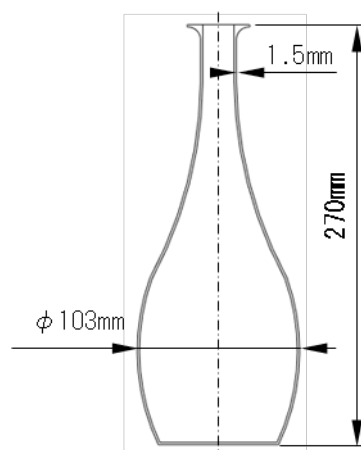


図 1 金属製ワインボトルの設計寸法

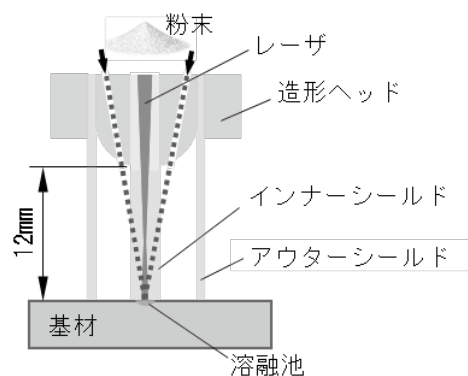


図 2 装置造形部の模式図

* 技術統括センター

(波長 1.07 μ m, 最大出力 2kW) により, 基材表面に熔融池を形成する。レーザ光の光軸周りに配置されたノズルから吐出された粉末が, 熔融池に投入されることで堆積層を形成する原理である。本装置の特徴として, インナーシールドおよびアウターシールドの 2 系統からなるシールドガスにより高いシールド性を確保できる点と, 造形中の熔融池の状態を監視し, 造形が安定するように, レーザ出力と送り速度をフィードバック制御するモニタリングシステムを搭載している点が挙げられる。

3. 研究内容

3.1 造形方針の検討

造形対象物の高さは 270mm であり, 前述の造形装置では軸ストロークの制約から一体造形できない。そこで, 図 3 に示すように対象物を上下に分割して造形し, その後, 「造形トライアル」事業に応募した企業(以下, 応募企業という)にて基材切除, 溶接, 造形表面の仕上げを行う方針とした。また, 対象物は高さがあるうえ, 大部分が板厚 1.5mm の薄肉形状であるため, 造形時に入熱量が過大となると形状が崩れる恐れがある。そこで, レーザスポット径を小さくしてパワー密度を高め, 十分な熔融池を確保しつつ高速走査すること, さらに薄肉部を 1 周のヘリカル動作で造形することにより, 総入熱量を抑える方針とした。

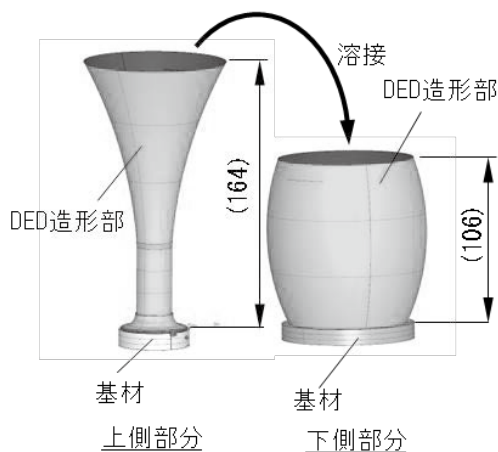


図 3 造形方針の概略

3.2 造形条件の検討

3.2.1 レーザ出力の検討

前述の造形方針に基づき, レーザ出力を検討した。なお, 造形材種は, これまでの実績から SUS316L を選定した。

レーザ出力の検討では, SUS316L 製平板基材(幅 20mm×長さ 100mm×厚さ 10mm)上に, 造形条件のうち, レーザスポット径 0.96mm, 送り速度 1000mm/min, 粉末供給量 10g/min を固定して, レーザ出力のみを変化させてシングルビードを造形し, その幅を測定した。結果を表 1 に示す。ビード幅はレーザ出力の増加に伴い広がり, 700W では 1.25mm となった。造形対象の板厚 1.5mm よりも小さいが, ビードを重ねて壁状に造形すると, 壁厚さはシングルビードの幅よりも増加する傾向がある。このことから, レーザ出力は 700W を採用した。

3.2.2 積層ピッチの検討

シングルビードを 30 層積層して壁状に造形して積層ピッチを検討した。

多層造形では造形後半に蓄熱が進み, 熔融池の温度が上昇する傾向がある。そこで以降の試験では, 前述のモニタリングシステムを用い, 2 層目造形時の熔融池の温度状態と同等になるようにレーザ出力をフィードバック制御し, 熔融池温度の安定化を図った。なお, 本試験の目的は積層ピッチの適正化であるため, 積層高さに直結する送り速度は制御せず, 1000mm/min に固定した。

積層ピッチと壁高さの結果を表 2 に示す。表中の設計壁高さは積層ピッチ×積層数を表す。積層ピッチ 0.33mm および 0.30mm では設計壁高さを大きく下回り, 0.28mm および 0.26mm では設計高さに近い結果となった。

表 1 レーザ出力とビード幅

No.	レーザ出力(W)	ビード幅(mm)
1	500	0.99
2	600	1.11
3	700	1.25

表 2 積層ピッチと壁高さ (30 層)

No.	積層ピッチ (mm)	壁高さ (mm)	
		設計	造形
1	0.33	9.9	6.3
2	0.30	9.0	7.2
3	0.28	8.4	7.8
4	0.26	7.8	8.0

表 3 積層ピッチと壁高さ (60 層)

No.	積層ピッチ (mm)	壁高さ (mm)	
		設計	造形
1	0.26	15.6	16.8
2	0.27	16.2	16.5

使用した装置は、ノズル下端から 12mm の位置で材料粉末が集束するよう設計されている。造形物高さがこの位置に一致すると、熔融池へ適切な粉末量が投入され、良好な造形が実現する。しかし、造形物高さが集束位置から外れると、熔融池への粉末投入量が減少し、1 層あたりの積層高さが低下する。積層ピッチ 0.33mm および 0.30mm では、実際の積層高さより設定ピッチが大きかったため誤差が累積し、粉末集束位置と熔融池位置がずれて設計壁高さに到達できなかったと考えられる。一方、積層ピッチ 0.28 mm および 0.26mm では、実際の積層高さと設定ピッチが概ね一致し、設計壁高さに近い造形をすることができた。なお、いずれの条件でも壁厚さは 1.6~1.7mm で、造形対象の設計板厚に近い値が得られたことから、レーザ出力は 700W が妥当であると判断した。

積層ピッチのさらなる最適化を目的として、0.26mm および 0.27mm の条件で 60 層の壁状造形を実施した。表 3 に示す結果のとおり、積層ピッチ 0.27mm のときに設計壁高さと造形壁高さが概ね一致したことから、本条件を採用することとした。

3.3 製品形状造形

造形条件を最適化できたことから、図 3 の上側部分、下側部分をそれぞれ造形した。造形時

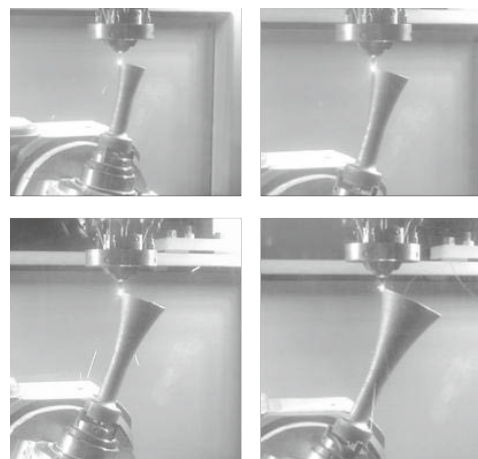


図 4 造形姿勢

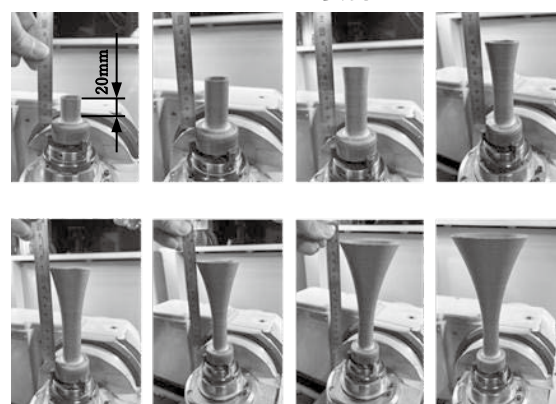


図 5 造形時の工程分割

には、前述のモニタリングシステムによってレーザ出力と送り速度をフィードバック制御し、造形の安定化を図った。造形姿勢は、図 4 に示すとおり、積層方向が壁面に沿うように同時 5 軸制御で造形した。このような造形姿勢とすることで、溶け落ちによる形状崩れを抑制できる。また、図 5 に示すとおり、概ね高さ 20mm ごとに工程分割して造形した。工程分割した理由は、①造形物と造形ノズルなど機械側の冷却と②造形高さの確認と補正のためである。本造形では、適切な造形条件を設定できたため、いずれの工程でも概ね設計どおりの高さに造形でき、高さを補正することなく造形を完了した。

造形完了後の上側部分、下側部分の写真を図 6 に示す。それぞれの造形表面に若干の違いは認められるが、上下の合わせ部の寸法も一致しており、概ね設計形状どおりに再現性良く造形できている。

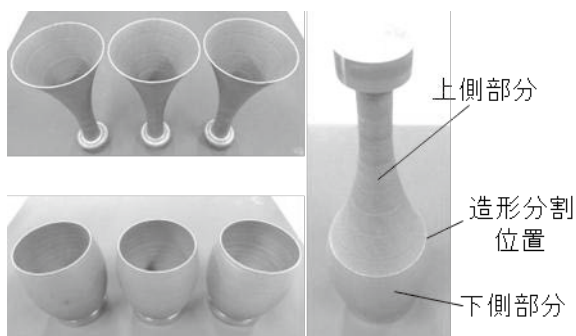


図6 造形完了後の写真

上側・下側それぞれの造形時間（工程間の冷却時間を除く）を表4に示す。上下を分割して造形したため、溶接などの後工程に要する時間は別途必要となるものの、造形自体は上下合わせて200分で完了した。

基材を切除して溶接した写真を図7、その後ボトルの外側全面を研磨した写真を図8にそれぞれ示す。いずれも応募企業で実施したものである。研磨後の表面を観察した範囲では、造形による空孔欠陥は認められず、良好な造形が実現できている。

表4 造形時間

造形部位	造形時間(min)
上側	85
下側	115
合計	200



図7 溶接後の写真



図8 外側全面を研磨した写真

以上の結果から、コストやリードタイムなどの詳細な評価は今後の課題であるものの、DED方式は従来の切削加工や塑性加工の代替として、あるいはこれらとのハイブリッドによる製品試作工法としての活用が期待される。

4. 結 言

- (1)DED(Directed Energy Deposition)方式堆積造形を用いて、SUS316L製のワインボトル形状を3個試作造形した。造形条件を最適化することによって、概ね設計形状どおりに再現性良く造形可能であった。
- (2)高さ270mm、最大直径103mm、厚さ1.5mmのボトル形状の造形に要した時間は200分であった。
- (3)コストやリードタイムなどの詳細な評価は今後の課題であるものの、DED方式は従来の切削加工や塑性加工の代替として、あるいはこれらとのハイブリッドによる製品試作工法としての活用が期待される。

なお、本報告は、公益財団法人にいがた産業創造機構が主催する次世代デジタルものづくり研究会・金属3D積層造形分科会で実施した「造形トライアル」事業において、当該財団から受託した研究内容をまとめたものである。

参考文献

- 1)令和7年度：金属3D積層造形トライアルのテーマ募集について、<https://www.nico.or.jp/sien/seminar/73193/>, (閲覧2026-3-13)。