

レーザーDEDによる機械部品の補修と信頼性評価

Repair and reliability evaluation of mechanical parts using laser DED

産総研（正）*鄭 優莉 産総研（非）原田 祥久 産総研（非）梶野 智史

産総研（正）中野 美紀 産総研（正）間野 大樹

Yuri Tei, Yoshihisa Harada, Satoshi Kajino, Miki Nakano, Hiroki Mano

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1. はじめに

レーザーDED (Directed Energy Deposition) および従来の溶接技術はどちらも金属を接合・加工する手法であり、目的や性能、応用範囲によって使い分けることができる。レーザーDEDは、熱源としてレーザーを使い、材料供給には金属粉末またはワイヤーを用いる積層造形 (3D プリント) の加工方式である。高精度な積層造形が可能である一方、表面の仕上げは粗くなる傾向があり、後加工が必要となる。溶接技術は、熱源として電気アークやガス炎などを使い、材料供給はワイヤーや母材そのものなどを用いる接合 (溶融・融合) の加工方式である。接合部の精度は溶接条件によって決まるが、仕上がりは比較的滑らかである。本研究では、一部が欠損した機械部品の補修を目的として、形状創製の自由度の高いレーザーDEDを補修法として適用する。同手法による機械部品の補修事例はこれまでにいくつか報告されているが、歯車や転がり軸受のような大きな接触応力に耐える機械要素の補修事例の信頼性評価の研究は少なく、その技術はまだ発展の途上にある。本報では、機械部品の直接的な補修と信頼性評価を行う前段の基盤的知見を得ることを目的として、丸棒の端面上に同種材を積層したときの信頼性評価を行う。本報における信頼性評価は、母材・接合界面・レーザーDEDによる積層部のそれぞれについて、組成、機械的物性、摩擦摩耗特性を網羅的に分析し、それらの差異を比較・検討した点に特徴がある。

2. 実験

Figure 1 に本研究の実験概要を示す。準備した母材丸棒にレーザーDEDにて積層後、分析用の試料を作製 (スライス、研磨) し、信頼性評価を行った。詳細を2.1-2.2に示す。

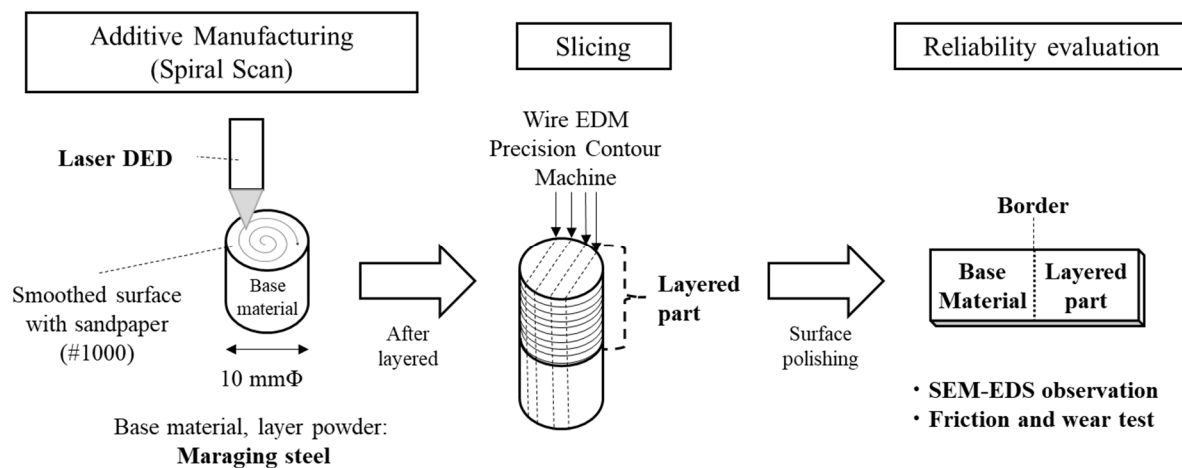


Fig. 1 The experimental overview.

2.1 試料の作製

(1) 母材の準備

ワイヤ放電精密コンターマシン (TAINATEC, DKV7725) を用いて、母材丸棒のマルエージング鋼 MAS1C ($\phi 10$ mm) を一本あたり長さ 2.5 cm になるよう切り出した。自動研磨機 (MARUTO, Doctor-Lap ML-182) を用いて、切り出した丸棒の片側の端面を研磨 (研磨紙 #1000, 3 分間, 80rpm) し、積層を行う面の表面粗さを滑らかにした母材を準備した。

(2) 積層

レーザーDED (オークマ, MU-5000V LASER EX) を用いて、上記の研磨面に粉末原料であるマルエージング鋼 Metco42C を約 3 cm の高さとなるまで積層 (スパイラルスキャン) した。

(3) スライス及び研磨

積層したサンプルを厚さ約 2 mm となるよう縦にスライスした。自動研磨機を用いて、切り出した面が鏡面になるよう研磨した。

2.2 信頼性評価

2.1 で作製した試料の信頼性評価を次のように行った。走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分析 (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: SEM-EDS, HITACHI, Miniscope TM3030) により、母材・接合界面・積層部の組織観察と組成分析を行った。ボールオンプレート型の往復動摺動試験機 (Optimol Instruments Prüftechnik (Germany), SRV3) により、母材・接合界面・積層部 (積層方向・半径方向) の 4 か所において摩擦摩耗試験を行った。摺動条件は、荷重 20N⇒Hertz の最大接触応力約 1 GPa, 揺動振幅 2 mm, 揺動周波数 50Hz, 温度 40℃, 潤滑スクアラン 50 μ L, 摺動時間 1h, 上部試験片 ϕ 10 mm 軸受鋼球 (DIN 100Cr6 (JIS SUJ2 相当)) であった。

3. 結果と考察

3.1 SEM 観察と EDS 分析

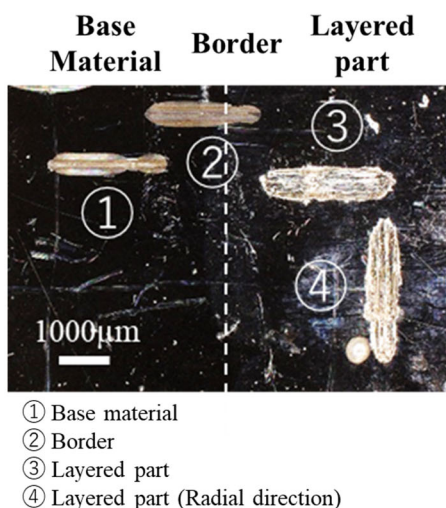
SEM 観察の結果、積層部は、いくつかの 1.5-14.5 μ m オーダー (長径) の大きめの空孔と 0.18 μ m 程 (長径) の小さな空孔も多く存在していることが確認できた。接合界面では、母材方向に約 1.2 mm の幅で母材と積層部が溶けて混ざり合っていた。これは、母材と粉末で成分に若干の差異があるものの、融点はほぼ同じであり、レーザーの照射時に母材、粉末ともに熔融したためと考えられる。なお、接合界面の熔融部にも 24 μ m 以下の空孔が存在していた。

EDS 画像より、母材・積層部ともに熔融していない部分ではそれぞれメーカー提示の原材料から成分の変化はなく、母材と積層部の熔融によって相互に成分の溶け込みが生じるのは幅が約 1.2 mm の接合界面のみに限られることが EDS 分析の結果によっても裏付けられた。

3.2 摩擦摩耗試験

母材・接合界面・積層部において摩擦摩耗試験を行ったところ、Fig. 2 (a) に示すとおり、母材ではマイルド摩耗であり、摩耗痕の内部は平滑であったが、積層部ではシビア摩耗であり、摩耗痕の内部には母材と比較して大きな凸凹が見られた。また、接合界面の摩耗痕は母材におけるマイルド摩耗と積層部におけるシビア摩耗の中間程度の大きさと様相を呈していた。摩擦係数は、Fig. 2 (b) に示すように、開始から 60 秒後までの初期なじみ過程において、母材と接合界面では概ね 0.5 以下で安定的に推移した一方、積層部では摺動方向を問わず 0.5 を超えて大きく増加・変動した。これらの結果は、積層部では初期なじみ過程において摩耗が急激に進行した可能性を示唆しており、その原因としては積層部では母材と比べて密度が低く良好な耐摩耗性を発現させるには不十分であったことが考えられる。

(a) Sliding test position and wear scar appearance



(b) Trends of friction

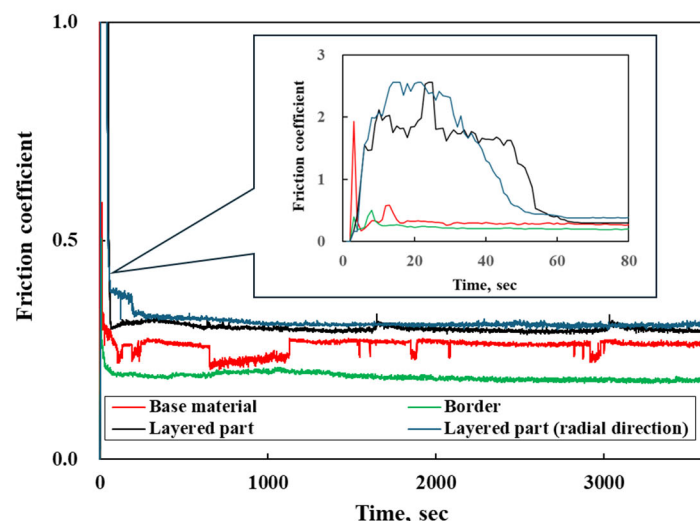


Fig. 2 The friction and wear test result:

(a) Sliding test position and wear scar appearance, (b) Trends of friction coefficient.

4. 今後の展望

研磨紙#1000 で接合面を滑らかにしたサンプルのさらなる信頼性評価を行うため、ビッカース硬さ試験、引張試験を行う。また、接合面の粗さ (研磨紙#100 使用, サンドブラスト等) の違いによる特性変化を比較する。