

高速度工具鋼粉末によるレーザ粉体肉盛層の機械的特性

機械・材料技術部 機械構造チーム 高 橋 和 仁
薩 田 寿 隆

本研究は、レーザ粉体肉盛溶接（LMD）の機械部品への適用拡大を目指し、形成される肉盛層の機械的特性を把握し基礎データを得ること、焼戻し温度が機械的特性に与える影響を調べることを目的とする。高速度工具鋼粉末(JIS SKH40 相当)を用いて、LMD により形成した肉盛層と、焼戻しの温度を変えた肉盛層、同鋼種の HIP 材の試験片において機械的特性の比較調査を行った。その結果、LMD 肉盛層は、硬さと耐摩耗性において HIP 材と同程度であった。曲げ試験ではすべての試験片は脆性的に破断し、LMD の曲げ強度は HIP 材の 5 割程度であった。LMD 肉盛層は 560 °C の焼戻しにより、曲げ強度、硬さはともに 20 %程度増加した。耐摩耗性に顕著な差はなかった。

キーワード：レーザ粉体肉盛溶接，高速度工具鋼粉末，強度試験，機械的特性

1 はじめに

レーザ粉体肉盛溶接（LMD : Laser Metal Deposition）は、溶接材が粉体のため肉盛層の組成の自由度が高く、入熱域が絞れることで局所的な改質層が形成できるため、シャフトの摺動部や金型の欠損部の肉盛補修など、強度や硬さ、耐摩耗性が必要とされる製品・部品に適用される加工技術である¹⁾。しかしながら、LMD で形成される肉盛層の機械的性質に関する情報は不足しているため、今後の LMD の適用拡大を考えれば²⁾、形成される肉盛層の強度や耐摩耗性などの機械的特性を把握しておくことは非常に重要である^{3,4)}。

本研究は、LMD で形成される肉盛層の機械的特性を把握し基礎データを得ることを第 1 の目的とする。また LMD の実用性を考えると肉盛層の再焼入れ焼戻し処理が必要となることから、焼戻し温度が機械的特性に与える影響を調べることを第 2 の目的とする。高速度工具鋼粉末を用いて LMD で形成した肉盛層より作製した試験片と焼戻し処理した試験片、さらに比較のために準備した熱間静水圧加圧（HIP : Hot Isostatic Press）より作製した試験片について、硬さ特性、曲げ強度、曲げ破断エネルギー、耐摩耗性による比較実験を行った結果を報告する。

2 実験方法

2. 1 試験片

粉末は、市販の JIS SKH40 相当の高速度工具鋼粉末を用いた。粉末粒径は 44~127 μm である。予め調べた安定して多層肉盛が可能な加工条件(表 1 参照)により、母材片(50 mm×100 mm×10 mm)に肉盛溶接し、そこから試験片を採取した。試験片はワイヤー放電加工で切出し、その表

面は平面研削盤で研削加工を施した。焼戻し処理は、肉盛溶接した母材片の状態、520 °C、560 °C、600 °C の各温度にて、2 h 保持の加熱と空冷を 3 回繰返し実施した。

さらに HIP 試験片は、市販されている HIP 成形の高速度工具鋼板より採取した。

2. 2 試験方法

硬さ特性は、ビッカース硬さ試験を行い調べた。試験荷重を 0.1 kgf とし、肉盛層の縦断面において上表面から深さ 2 mm の領域で約 40 点の平均硬度として求めた。

曲げ強度は、万能試験機を用いて 4 点曲げ試験を行った。試験速度を 0.01 mm/s とし、荷重を負荷し破断させた。曲げ強度は(1)式により求めた。

$$\text{曲げ強度} = \frac{3P(L_2 - L_1)}{2bt^2} \quad (1)$$

ただし、 P : 最大荷重、 L_1 : 内部支点間距離 10 mm、 L_2 : 外部支点間距離 30 mm、 b : 試験片の幅 6 mm、 t : 試験片の厚さ 3 mm である。

また、試験片が破断するまでに外力がした仕事を曲げ破断エネルギーと呼ぶこととし、(2)式により求めた。

$$\text{曲げ破断エネルギー} = \int p d\delta \quad (2)$$

ただし、 p : 荷重、 δ : 変位である。

耐摩耗性については、ブロックオンリング試験により摩耗痕幅の測定を行った。リング材質は JIS SUJ2 であり、試験片形状は厚さ 5 mm、幅 8 mm、長さ 50 mm である。試験条件は、荷重 21 N、回転数 1000 rpm、試験時間 600 s とし、無潤滑で試験を行った。

表 1 LMD の加工条件

母材	JIS SCM440	レーザ照射速度	0.01 m/s
粉末金属	JIS SKH40	幅方向ピッチ	2 mm
レーザ出力	2 kW	キャリアガス	Ar
ビーム径	4.3 mm	シールドガス	Ar
粉体供給量	10 g/min	予熱	無し

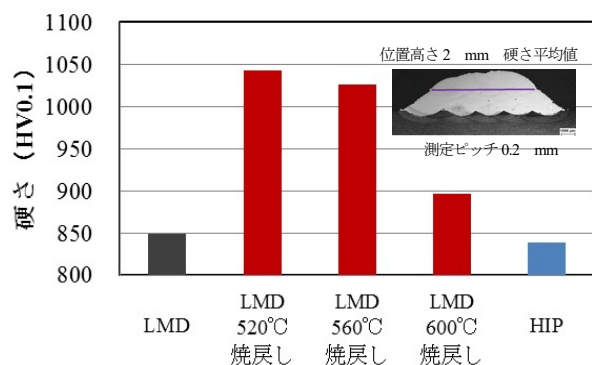


図1 LMD 材, LMD 焼戻し材, HIP 材の硬さの比較

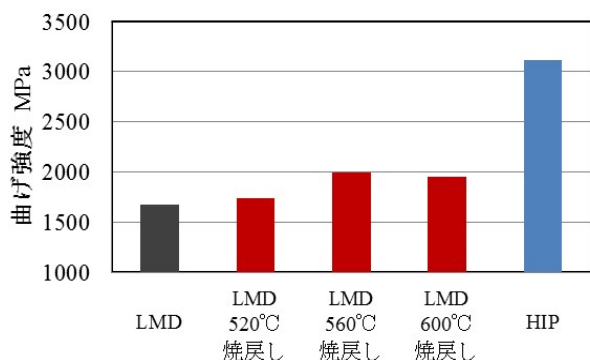


図2 LMD 材, LMD 焼戻し材, HIP 材の曲げ強度の比較

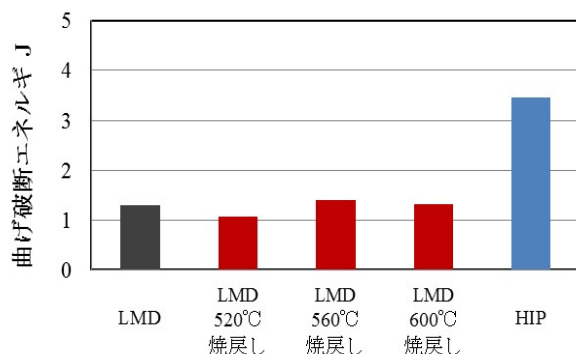


図3 LMD 材, LMD 焼戻し材, HIP 材の曲げ破断エネルギーの比較

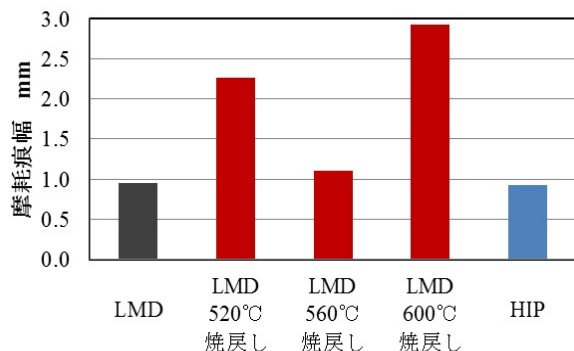


図4 LMD 材, LMD 焼戻し材, HIP 材の摩耗痕幅の比較

3 実験結果

LMD 材, LMD 焼戻し材, HIP 材の硬さの比較を図1に示す. LMD 肉盛層の硬さは HIP 材と同程度であった.

520 °Cと 560 °Cの焼戻しにより硬さは 850 (HV)から 1030 (HV)程度まで 20 %増加しており, また 600 °Cでは 890 (HV)に上昇している. 高速度工具鋼の熱処理における 2 次硬化が生じていることを確認した.

図2に LMD 肉盛層と HIP 材の曲げ強度の比較を示す. LMD 肉盛層の曲げ強度は 1670 MPa であり, HIP 材の曲げ強度 3120 MPa の 5 割程度であった. LMD 肉盛り層は 560 °Cの焼戻しで曲げ強度が 1990 MPa となり 20 %増加した. また, 曲げ後の肉盛層の試験片の破面は曲げ引張り側を起点とする脆性破面の形態を呈していた.

LMD 肉盛層と HIP 材の曲げ破断エネルギーの比較を図3に示す. LMD 肉盛層の曲げ破断エネルギーは 1.3 J であり, HIP 材の曲げ破断エネルギー 3.5 J の 4 割程度であった. LMD 肉盛り層は 560 °Cの焼戻しで曲げ破断エネルギーは 1.4 J と 8 %微増した.

図4に LMD 肉盛層との HIP 材の摩耗痕幅の比較を示す. LMD 肉盛層の摩耗痕幅は, HIP 材と 560 °Cの焼戻しにおいて約 1.0 mm で同程度である. また, 520 °Cと 600 °Cの焼戻しでは摩耗痕幅が増加し耐摩耗性は低下した. この原因は不明である.

4 まとめ

高速度工具鋼粉末を用いた LMD の肉盛層において, 焼戻し処理, HIP 材との力学的特性の比較調査をした結果, 以下の知見が得られた.

- (1) LMD 肉盛層の硬さは, HIP 材と同程度であり, 560 °Cの焼戻しにより, 20 %増加する. 硬さにおいて, 高速度工具鋼の熱処理にみられる 2 次硬化が確認された.
- (2) LMD 肉盛層の曲げ強度は, HIP 材の 5 割程度であり, 560 °Cの焼戻しにより 20 %増加する.
- (3) LMD 肉盛層の曲げ破断エネルギーは, HIP 材の 4 割程度であり, 560 °Cの焼戻しにおいて 8 %微増した.
- (4) LMD 肉盛層の摩耗痕幅は, HIP 材と 560 °Cの焼戻しにおいて同程度である.

参考文献

- 1) 金安力; 溶射技術, 34, 1 (2014).
- 2) 京極秀樹; 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, 5, p.139 (2014).
- 3) 小暮尊志, 横山幸雄, 山内友貴, 山中寿行; 東京都産業技術研究センター研究報告, 8, p.72 (2014).
- 4) 三浦秀士, 永田優, 石橋秀基, 上村誠, 大津雅亮; 粉体および粉末冶金, 54, 10, p.707 (2007).
- 5) 後藤善弘, 杉村昇八, 白崎将治, 赤坂恵造; 福井大学工学部研究報告, 38, 1 (1998).