



雷射金屬沉積直接成型螺桿技術

Laser Metal Deposition Technology for Screw Conveyor

¹ 簡士凱、¹ 陳信助、² 蔡國騰、³ 王雍行、⁴ 李閔凱

¹ 工研院雷射中心 雷射應用技術組 雷射製造創新部

² 工研院雷射中心 積層製造技術組 積層創新部

³ 工研院雷射中心 雷射應用技術組 雷射製造創新部 副理

⁴ 工研院雷射中心 雷射應用技術組 雷射製造創新部 經理

摘要：雷射金屬沉積(laser metal deposition, LMD)為一種基於雷射應用的積層製造方式，可廣泛應用於金屬品製造、金屬披覆、高價值金屬品重建及功能性零組件製造。而雷射金屬沉積製程包含各種複雜參數，如雷射能量、光斑直徑、披覆路徑方式、粉材供粉量、雷射移動速度及氣體流量。然而這些製程參數往往會因材料、雷射金屬沉積設備與操作環境的不同而有所差異，仍需面臨材料性質與製造精度的挑戰。因此需要透過加法與減法加工之多功能複合製程方法，並整合 CAD/CAM 軟體以滿足應用與製造需求。本文將針對雷射金屬沉積直接成型螺桿製程中，所使用的加值型 CAD/CAM 客製化系統、沉積製程研究及應用進行介紹。

Abstract : Laser Metal Deposition (LMD) is a laser-based additive manufacturing technology, which can be used in various material processing, such as in metallic components fabrication, metallic coating, high-value component repair, and functional parts manufacturing. The LMD process consists various process parameters, including laser power, laser beam diameter, hatch path, powder feed rate, motion velocity, and gas flow rate. These process parameters are dependent to materials, LMD machines and operating environment; and the major challenges are to ensure material properties and machining accuracy. Therefore, by adopting a multi-functional composite manufacturing with additive processing and reductive processing, and integrating CAD/CAM software, the needs in application and manufacturing can be fulfilled. This paper will introduce the LMD technology for screw conveyor, including its customized CAD/CAM software system, the development of deposition process, and its applications.

關鍵詞：3D 列印、雷射金屬沉積、積層製造

Keywords : 3D Printing, Laser Metal Deposition (LMD), Additive Manufacturing (AM)

前言

雷射金屬沉積(laser metal deposition, LMD)為近年來極具發展潛力之積層製造技術之一，由於 LMD 具備獨特優點，其適用廣泛金屬材料、沉積稀

釋率可控制、沉積層與底材為冶金結合、熱影響區小與易於實現自動化控制等，國內外眾多的工業與研究單位已專注進行研究開發。LMD 沉積的原理



是將金屬粉末直接注入金屬噴嘴，與同軸的雷射光同時聚焦於加工件表面，根據工件加工圖檔進行多層金屬沉積堆疊成型。LMD 技術的導入，有利於金屬製品零件的功能加值與重建，可提升石化閥件與管路、動力機械用軸件、模具設計變更與修復、滾輪、進料螺桿等產品效能與品質的改善。甚至，此類技術可用於直接製造產品，例如用於航太、汽車新組件的製造與應用，包括螺旋槳連接部件、引擎用進氣歧管、大型渦輪葉片與優化骨架及輕量化高強度結構等。藉由 LMD 技術可節省材料與縮減開發時程，依據美國能源部估算，相較傳統除料製造方式，可節省超過 50% 之能源。工研院積層中心 LMD 系統導入 6kW 高功率雷射及 ABB 機械手臂，透過工業等級通訊界面整合高功率雷射源、送粉機以及惰性氣體流量控制模組等設備進行通訊。隨著應用的多元與複雜的結構金屬元件成型，於軟體部份導入電腦輔助設計與製造軟體(CAD/CAM)，採用市售所開發 CAD/CAM 軟體為基礎，開發人性化的操作介面大幅降低操作步驟，可應用於高複雜結構金屬元件的製造。而 LMD 的沉積過程為一複雜的物理現象結合，從金屬粉體的輸送、熔池的熔化流動與冷卻凝固成型。由於這些物理現象為各種操作參數相互影響，因此 LMD 的沉積製程控制對於沉積品質相當重要。本篇文章將針對 LMD 直接成型螺桿技術進行綜述，包含 LMD 加值型 CAD/CAM 客製化軟體的開發、LMD 沉積製程的研究與未來加減複合製造趨勢進行介紹。

LMD 加值型 CAD/CAM 客製化軟體

電腦輔助設計與製造軟體(CAD/CAM)是智慧製造重要的其中一環[1]，航太以及汽車零組件非常多元且複雜，無法以人工撰寫機械執行碼快速完成路徑規劃，必須導入 CAD/CAM 系統完成路徑規劃與模擬。藉著 CAD/CAM 模擬系統，以直觀視覺檢視加工過程中是否可能發生碰撞，模擬加工路徑是否符合製程需求。為了製造更複雜的 3D 構型零件，

五軸數控(5-Axis CNC)機床設備是必備的[2-4]，CAD/CAM 也必須完整支援 5-Axis CNC，市場上已有數家 CAD/CAM 領導廠商，專注於數位製造整合技術，如 SIEMENS、PowerMILL、SprutCAM、HyperMill 以及 SolidCAM。LMD 複合加工機大廠也與 CAD/CAM 領導廠商結為合作夥伴，導入 CAD/CAM 系統並搭配雷射金屬沉積製程參數，完成雷射加工路徑規劃，合作開發出適應於 LMD 應用的 CAD/CAM 軟體，如工具機領導廠商 DMG Mori 與 CAD/CAM 龍頭廠商 SIEMENS 的合作案例。此外國際上許多國家級研究機構也積極投入此一領域的研發，如德國 Fraunhofer、台灣工研院等。

目前 CAD/CAM 系統多數需要透過大量的對話式選單，設定加工程序以及參數條件，以減法加工為例，這些程序需包括：(1)工法選單、(2)刀軸設定、(3)進退刀方式、(4)路徑連結方式、(5)路徑延伸方式、(6)切削參數、(7)邊界設定、(8)干涉避撞條件。整體系統操作程序複雜繁瑣，自動化程度較低，操作人員需經過長時間的訓練才能操作，如欲運用於 LMD 加法製造，則又需同時具備雷射金屬沉積技術的專業製造知識，因此無法輕易地被目前產業所接受使用。針對上述需求，工研院已投入研發 LMD 加值型 CAD/CAM 客製化系統(ITRI-AM)開發，如圖 1 所示，工研院以商用 CAD/CAM 系統為基礎 (Delcam PowerMILL)，透過客製化函式庫介面進行開發，並以 3D 曲面工件作為試製目標。然而現今航太與車用零組件大多具有複雜的幾何造型曲面，傳統的 3D 製造路徑規劃方法，已無法滿足 LMD 製程需求，因此還需額外開發 LMD 曲面積層工法，方可符合需求，以下即介紹展示工研院所自行開發的 LMD 加值型 CAD/CAM 客製化軟體功能。

1. LMD 曲面積層工法

一般 3D 列印軟體路徑規劃原理，採用切層方式建立內外的邊界，再以特定規律的掃描路徑方法逐層堆疊成型。3D 列印切層原理如圖 2 所示，然而

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】419期・107年2月號

機械工業雜誌・每期 220 元・一年 12 期 2200 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9339

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw