



雷射金屬積層製造 多物理耦合行為

Multi-physics behaviors of Laser Metal Additive Manufacturing

蔡宗汶

工研院雷射中心
積層製造技術組
積層創新部

林得耀

工研院雷射中心
積層製造技術組
積層創新部

黃偉欽

工研院雷射中心
積層製造技術組
積層創新部

莊傳勝

工研院雷射中心
積層製造技術組
積層創新部

關鍵詞(Keywords)

- 積層製造 Additive Manufacturing
- 多物理行為 Multi-Physics Behaviors
- 殘留應力 Residual Stress

摘要(Abstract)

在積層製造粉末熔融(selective laser melting, SLM)過程中，雷射與粉體的交互作用為熱傳與融化和蒸發的相變化(熔融：固→液與凝固：液→固)。且於凝固過程中熔融的液態金屬會因重力與液體內聚力的影響，開始產生球化。這種複雜的液態金屬流動與成型特性將影響凝固後分布均勻性，最後呈現在積層製造產品的品質特性。另外，

雷射金屬積層製造屬於高速急熱急冷的加工過程，此過程會在材料內產生高溫度梯度(temperature gradient mechanism, TGM)引起殘留應力而衍生的成品的變形與缺陷。為了探討進一步了解成形與破壞機制，本文主要介紹雷射金屬積層製造相關模擬技術，希望藉此協助業者能對金屬積層製造相關學理機制有進一步的認識，並利用相關技術創造更多高值化產品。

During the additive layer manufacturing process, the powder melting involves heat transfer and phase change due to the solidification and melting of powder interacting with the laser. Gravity and coherent force also tend to ball the liquid metal during the solidification. These complicated phenomena affect the flow behaviors of the liquid metal and its homogeneity after



solidification, which then determine the quality of the product of the additive layer process. And, this process involves extremely high thermal gradients and heat and cooling rate, resulting in residual stresses and distortion. For a clear understanding of these mechanisms, this study discusses the fundamental principles of additive manufacturing. Therefore, the additive manufacturing industry in Taiwan will use this technique to improve the product design and increase the competitiveness in this field.

1. 前言

近年來積層製造技術的突破性進展，被視為具有足以讓製造產業轉型，並充滿新產品創新的潛能。其中，以金屬粉末為基礎的積層製造技術，將改變傳統零件生產製造面貌，而現在只是這先進製造技術世代的開端。隨著積層製造技術(或稱3D 列印)成功應用實例陸續被發表，越來越多的產業開始將積層製造技術應用於功能性產品的打樣與直接生產製造。

現行雷射金屬製程與設備面臨許多挑戰，如高生成率、大面積、精度、表面粗度、支撐設計等，其中最大瓶頸在於目前積層製作主要憑藉設計經驗與試誤法(trial and error)避免製作過程產生熱應力所造成之破壞，此方式將影響台灣整體產業精進與升級。

積層製造熱應力的形成機制為加熱過程中以雷射所造成的熔池熱源中心，會沿著材料形成溫

度梯度(temperature gradients)。此時上層的材料受熱膨脹，而後冷卻開始收縮，邊緣的材料會限制這個膨脹與收縮的過程，因此造成塑性應變(plastic strains)累積，若邊緣的材料是實體狀態且範圍較大時，則可能造成撓曲(warping)、凝固層分離(layer delamination)甚至是裂痕的發生(cracking)，如圖1所示。



圖1 積層製造因製作過程產生熱應力所造成之破壞[1]

為了解決上述積層製造的瓶頸問題，目前國際上提出許多有關金屬積層製造的熱應力預測模型。且基於成品幾何的複雜程度(如圖1所示)，此部分熱應力分析可以由二維或三維模型進行描述。例如，Sowdari 與 Majumdar [2]使用二維模型探討在鋁材受到單發雷射加熱熔融後的融池動態特性。在 Mercelis 和 Kruth [3]的研究中，以二維理想化光束方法(beam idealised approach)來預測50層的鋼金屬粉末燒結(sintering)的殘餘應力的變動。近來，Roberts [4]利用有限元素法(finite element method)探討金屬粉末雷射燒融後的熱與

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】395期・105年2月號

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：03-591-9342

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