

新式極細線徑金屬線3D雷射列印方法 初期研究

廣泰金屬工業股份有限公司◆張家銘

工業技術研究院南分院◆簡志維

摘要

目前在金屬3D列印領域的研究與應用，主要聚焦在金屬粉末搭配雷射熔覆設備方面，目前藉由金屬3D列印技術製造3D金屬元件，已成功應用於航太、汽車、機械與生醫產業。但金屬粉末在使用時因為粉末粒度呈高斯分佈與損耗率高的因素，造成其成品的品質與成本均略受影響。廣泰金屬前期使用雷射銲接機搭配極細線徑不銹鋼以側向送線為主，已初步驗證此種方式可達到品質要求，但受制於銲接方向性與效率問題，進而使此種方式的未來發展性受到限制。本研究採用德國同軸雷射銲接設備搭配廣泰獨特極細線徑不銹鋼線材來實現高品質與高效率之3D列印技術。

關鍵詞：細線徑金屬線、3D雷射列印、同軸雷射

一、前言

3D列印又稱為積層製造(Additive Manufacturing, AM)，是一種屬於快速成型的技術，根據美國材料試驗協會(American Society for Testing Materials, ASTM)之定義，為一種材料接合的製程，利用電腦輔助設計軟體(CAD)處理三維模型資料，將材料層層疊印後產出立體物件[1]。3D列印技術運用粉末狀金屬或高分子等可黏合材料，透過逐層堆疊的方式來構造物體，即「層造形法」，與傳統的機械加工技術最大不同之處為，後者採用切削或鑽孔技術(減法加工)實現[2]。根據國際ASTM標準分類，目前3D列印技術種類可分為七大類，包含光聚合固化技術(Vat Photo Polymerization, VP)、材料噴塗成型技術(Material Jetting, MJ)、黏著劑噴塗成型技術(Binder Jetting, BJ)、疊層製造成型技術(Sheet Lamination, SL)、粉床熔化成型技術(Powder Bed Fusion, PBF)與指向性能量沉積技術(Directed Energy Deposition, DED)[3]。而市近年來，金屬3D列印、三維列印技術或金屬積層製造技術受到許多研究者的注目，而在金屬三維列印的方面以金屬粉末為材料

最為普遍，目前在飛機零件、生醫材料以及客製化之金屬首飾品等高單價產品中，已有越來越多使用金屬3D列印來製作之實例。但在使用金屬粉末為材料時會有價格過高、產品缺陷高與材料使用效率等問題仍需解決，因此不管學界或業界仍致力於發展新的金屬3D列印材料[4]。

二、金屬3D列印技術

金屬3D列印技術製造的加工概念是直接利用熔融材料疊成工件的方式，再以傳統加工方式達成工件的最終型體結構。目前使用的堆積方式有包括指向性能量沉積、粉體床熔化成型、電弧銲成型(Arc welding)、摩擦攪拌銲接成型(Friction Stir Welding)與黏著劑噴塗成型等。

指向性能量沉積以材料與能量來源分類可參考圖1所示。材料方面可使用粉末與線材，而能量來源則可採用雷射、電子束、電漿與電弧等[5]。

圖2(a)為粉體床熔化成型之示意圖，粉體床熔化成型又稱為選擇性雷射熔融(Selective Laser Melting, SLM)，是利用欲熔融的金屬粉末材料藉由雷射熔融方式，每層粉末經過雷射光束選擇性熔化掃描。在掃描一層後，粉床向下移動一層厚

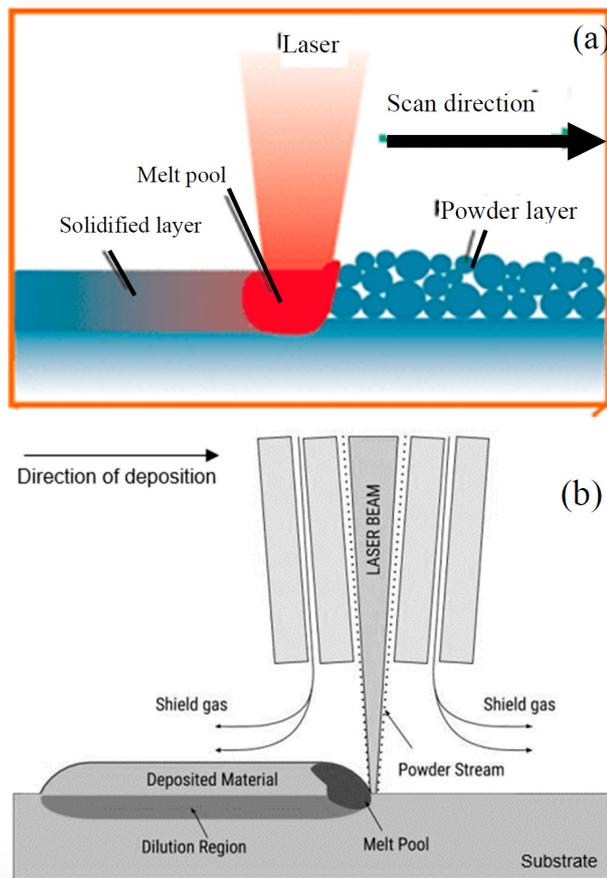
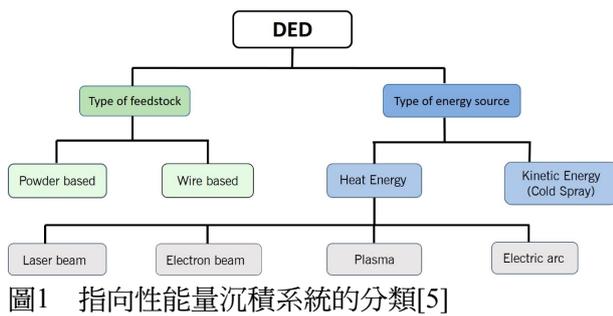


圖2 粉體床熔化成型與指向性能量沉積系統示意圖[6]

度，再鋪上新的一層粉末，重複此過程直到完成工件所需要的體型為止，此種技術可生產高密度與高強度零件，材料利用率幾乎可達到100%，避免材料浪費。亦可生產複雜形狀的產品，適合製作生產形狀複雜的新品，但不利於進行工件的局部修復工作。

圖2(b)指向性能量沉積系統示意圖，此技術是利用一種噴粉式的3D列印方法，使用雷射光束熱源加熱金屬粉末材料，將材料熔化在基底材料上，來建構三維的工件。目前指向性能量沉積技

術可分為，雷射融覆(Laser Cladding, LC)、雷射近淨成型(Laser Engineered Net Shaping, LENS)與雷射金屬沉積(Laser Metal Deposition)。其應用範圍可分成三部分，一是3D列印製造新工件，二是在即有工件上進行3D列印製造出原工件上附加一新構件，三是針對工件進行修補或改變型體外觀。

電弧銲成型技術則是採用電弧熔融金屬線材之後堆疊成型，如圖3所示，為奧地利伯樂銲接開發出來的銲線電弧沉積層製造(Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM)技術[7]。此項技術可以提高工件製造效率，可滿足少量且需要快速成型3D列印工件。其解析度約為1mm，堆積速率約為1~10kg/小時之間，製造速度較指向性能量沉積技術快，但準確度不如指向性能量沉積技術。目前電弧銲3D成型技術可以銲線的金屬材料為主，目前常見材料包括碳鋼、不銹鋼、合金鋼、鈦合金、鎳基合金和鋁合金等。

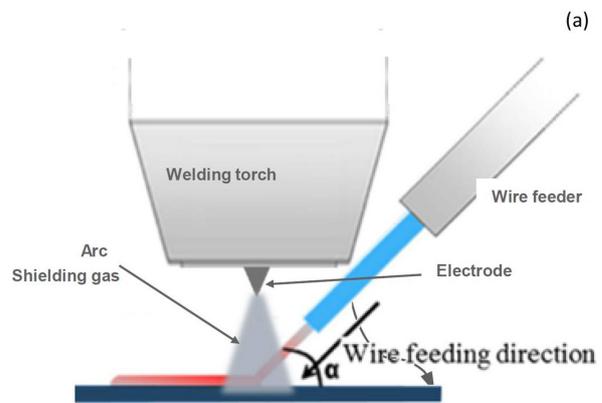


圖3 伯樂銲接之銲線電弧沉積層製造技術(a)示意圖；(b)實際銲接情況[7]

J.W. Elmer [8]使用1.0mm的308L不銹鋼線為材料，利用Laser Wire Additive Manufacturing, Wire Arc Additive Manufacturing 及 E-Beam Additive Manufacturing三種方式來進行分析，這三種方式以雷射的單位長度中能量最低，電弧鐸線積層為雷射鐸線積層的5倍，電子束鐸線積層為雷射鐸線積層的10倍。雷射鐸線積層可得較好的熔池控制性、高的強度與最終工件表面狀態。電弧鐸線積層則是成本最低具有最好的積層效率。而電子束鐸線積層則是可以得到最佳的化學成份控制，不易在積層時造成氧化現象。

三、細線徑金屬3D列印技術開發

廣泰金屬前期使用雷射鐸接機搭配細線徑不銹鋼以側向送線為主廣泰金屬前期使用雷射鐸接機搭配細線徑不銹鋼以側向送線為主，如圖4所示。

利用Nd-YAG laser使用304H線材側向送料來進行積層。而利用此技術進行了不同形狀的的積層，如圖5(a)與(b)所示。另外，也進行了垂直與傾斜薄壁的積層，如圖5(c)與圖5(d)所示。成功的驗證此種技術是可以運用於金屬3D列印，但由於此方式受制於鐸接方向性與效率問題，進而使此種方式的未來發展性受到限制。

為改善側向送線雷射3D列印的缺點，廣泰金屬於2019年底開始與德國Fraunhofer合作使用其

開發的同軸送線雷射頭來進行金屬3D列印，如圖6所示。由圖6(a)與6(b)可看到同軸送線雷射頭，以同軸雷射光聚焦於中心使基材熔融後，再由中心將線材送入熔池中進行熔覆。此方式可有效解決側向送線的方向性影響到工件品質，亦直接套用即有的CAD/CAM程式，再進行微調後即可使用。並可以將其應用範圍由3D列印製造新工件擴展至針對工件進行修補或改變型體外觀的3D列印應用。

一般鐸接用MIG鐸線會有彈寬與彈高的範圍，並非完全為直線，故在使用上會有送線的一致性與對準性問題。在大線徑的應用因成品精度要求不大且要求效率時，一般鐸接用MIG鐸線，是可達到需求的。

因此，針對於細線徑且工件成品精度要求較高的應用時，利用同軸雷射方式再搭配廣泰金屬特有伸線技術所生產的極細線，針對於彈寬與彈高可控制在最小範圍，可再進一步改善3D列印時的送線性與對準性。使用同軸雷射方式搭配廣泰生產的極細線之初步測試結果，如圖7所示。圖7(a)為空心圓錐狀積層試片，圖7(b)方型與圓型之積層試片，圖7(c)為實心三角柱之積層試片。未來會再更進一步調整積層參數設定，使積層之幾何形狀接近欲獲得的尺寸、精度與粗糙度。未來會再更進一步調整積層參數設定，使積層之幾何形狀接近欲獲得的尺寸、精度與粗糙度。

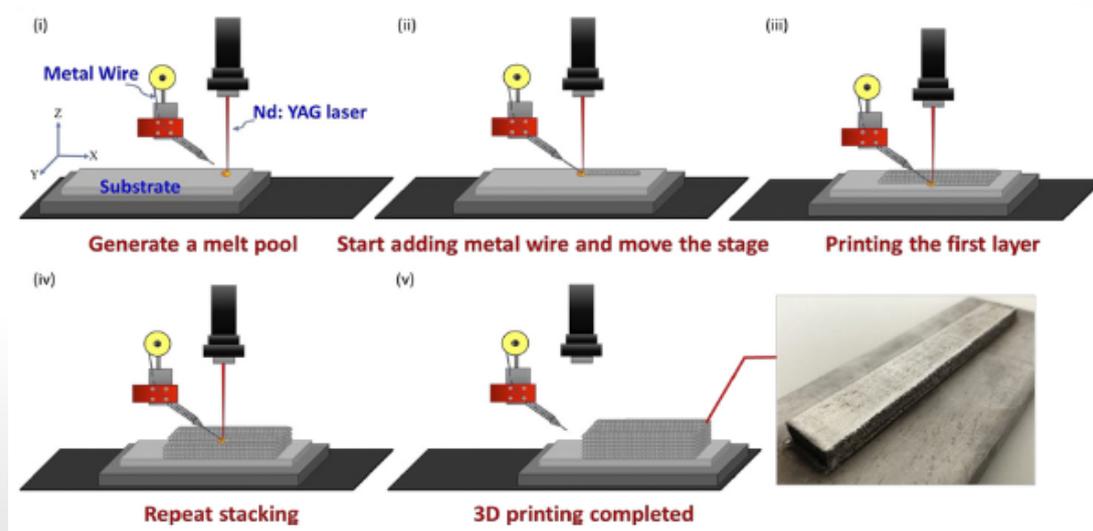


圖4 細線徑不銹鋼側向送線之3D列印[9]

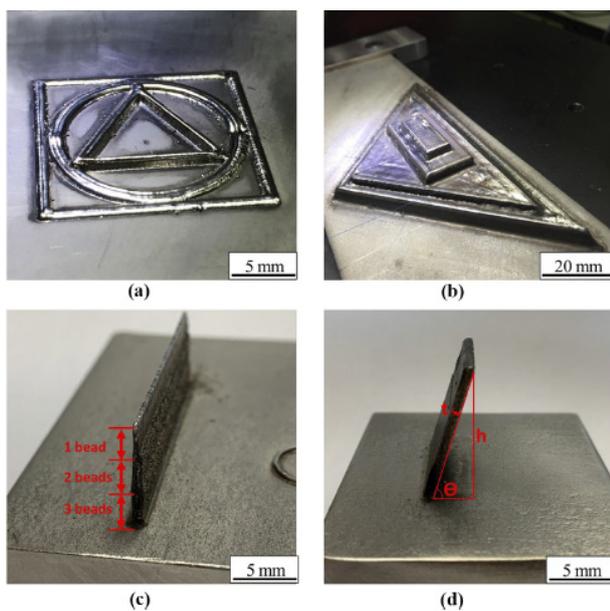


圖5 細線徑不銹鋼側向送線之3D列印樣品[9]

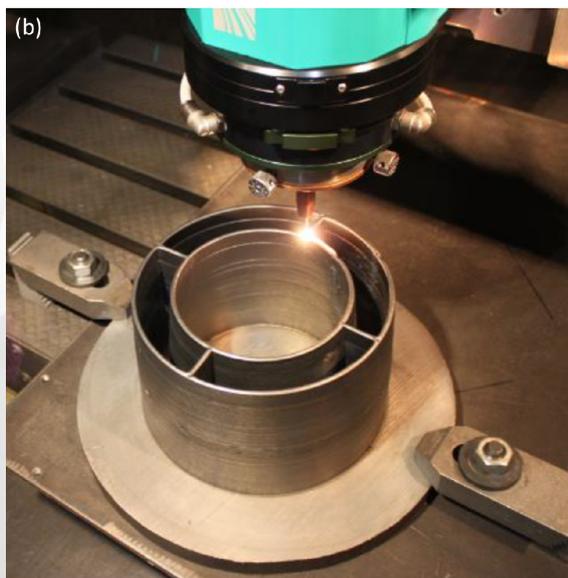
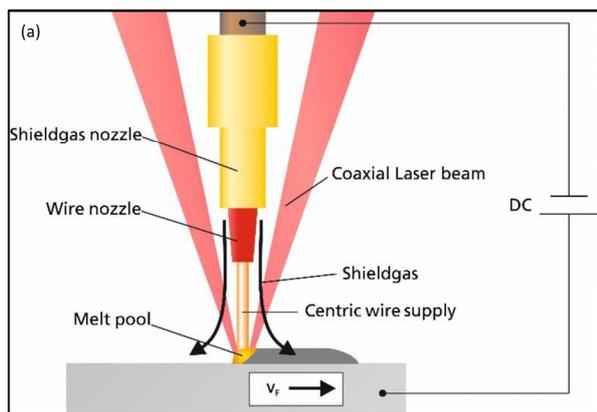


圖6 德國同軸雷射3D列印(a)示意圖；(b)實際列印情況

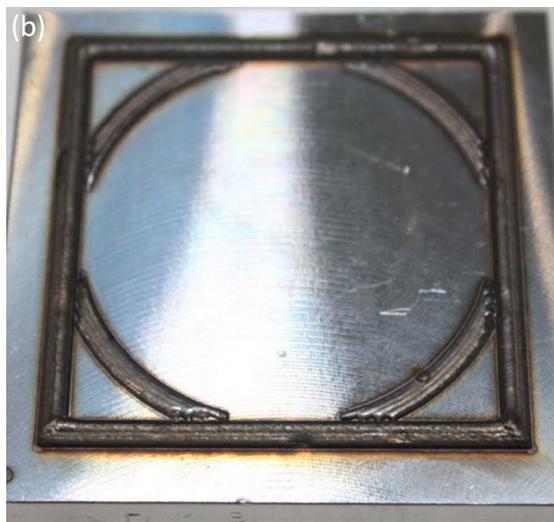


圖7 德國同軸雷射配搭廣泰極細線之3D列印初步成品

四、結 論

本研究使用德國Fraunhofer同軸雷射鐸接設備搭配廣泰獨特極細線徑不銹鋼線材來實現高品質與高效率之3D列印技術。此項技術可有效解決廣泰金屬前期使用雷射鐸接機搭配極細線徑不銹鋼以側向送線方式之方向性與效率問題。未來研究會再更進一步調整積層參數設定，使欲積層之幾何形狀接近欲獲得的尺寸、精度與粗糙度。

五、參考文獻

1. 尤如瑾，「積層製造(3D列印)技術之機會與挑戰(上)」，工業材料，第321期，第120-126頁，2013年。
2. 葉錦清，「3D列印(積層製造)產業發展現況分析」，工業材料，第346期，第65-71頁，2015年。
3. 林國權、蕭亞璇，「3D列印材料應用與發展」，工業材料，第334期，第140-148頁，2014年。
4. 郭聰源、莊承鑫、江驊晟、周宜錦，「雷射鐸接應用於金屬細線之積層製造研究」，台灣鐸接年會，高雄，2016年。
5. A. Dass, A. Moridi, "State of the Art in Directed Energy Deposition: From Additive Manufacturing to Materials Design," Coatings, vol.9, pp. 418-444, 2019.
6. A. Saboori, A. Aversa, G. Marchese, S. Biamino, M. Lombardi, P. Fino, "Application of Directed Energy Deposition-Based Additive Manufacturing in Repair," Applied Science, vol. 9, pp. 3316-3342, 2019.
7. F. Ciccomascolo, "Wire Arc Additive Manufacturing," Bohler Hamm Open House, 2019.
8. J.W. Elmer, J. Vaja, J.S. Carpenter, D.R. Coughlin, M.J. Dvornak, P. Hochanadel, P. Gurung, A. Johnson, G. Gibbs, "Wire-based Additive Manufacturing of Stainless Steel Components," Welding Journal, vol. 99, 8s-24s, 2020.
9. M.O. Shaiki, C.C. Chen, H.C. Chiang, J.R. Chen, Y.C. Chou, T.Y. Kuo, K. Ameyama, C.H. Chuang,

"Additive Manufacturing Using Fine Wire Based Laser Metal Deposition," Rapid Prototyping Journal, Nov. 2019.