



## 3D 列印對積層材料之研究

許葦亭<sup>1</sup> 李昱廷<sup>2</sup> 潘旭斌<sup>3</sup> 張峻銘<sup>4</sup> 林炳宏<sup>5\*</sup>

- 1.財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 佐理工程師
- 2.財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 助理研究
- 3.財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 研究員
- 4.財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 副研究員
- 5.財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 助理工程師

### 摘要

積層製造(Additive Manufacturing, AM)正迅速地發展，但是其列印材料的機械性能尚未能完全被掌握。在本研究中，我們使用 PolyJet 系統的 UV 固化光敏聚合物，分別依據 ASTM D256-10 和 ASTM D4060-10 測試了光敏聚合物的衝擊強度和磨耗特性。研究結果顯示，當衝擊試片擺放方向為橫向時，具有最佳的衝擊強度，其衝擊強度為 27.25 J/m。當磨耗試片擺放角度呈 45 度時，其磨耗損失重量為 0.0268 g，具有良好的磨耗特性。

**關鍵詞：**積層製造、3D 列印、強度

\*通訊作者 E-mail: lbh@tiri.narl.org.tw



# Investigation of 3D printing on additive manufacturing material

Wei-Ting Hsu<sup>1</sup>, Yu-Ting Li<sup>2</sup>, Hsu-Pin Pan<sup>3</sup>, Chun-Ming Chang<sup>4</sup>, Ping-Hung Lin<sup>5\*</sup>

**Engineering Assistant, Taiwan Instrument Research Institute, National Applied Research Laboratories.**

**Assistant Researcher, Taiwan Instrument Research Institute, National Applied Research Laboratories.**

**Research Fellow, Taiwan Instrument Research Institute, National Applied Research Laboratories.**

**Associate Researcher, Taiwan Instrument Research Institute, National Applied Research Laboratories.**

**Assistant Engineer, Taiwan Instrument Research Institute, National Applied Research Laboratories.**

## ABSTRACT

The use of additive manufacturing (AM) is expanding rapidly. However, the mechanical behavior of printing materials has yet to be fully elucidated. In this study, we examined UV-cured photopolymers designed for use in PolyJet systems. We tested the impact strength and wear characteristics of the photopolymer in accordance with ASTM D256-10 and ASTM D4060-10, respectively. When the impact test piece was placed in the transverse direction, it had the best impact strength. Its impact strength was 27.25 J/m. When the wear test piece was placed at an angle of 45 degrees, the wear weight loss was 0.0268 g. It had good wear characteristics.

**Keywords:** Additive manufacturing, 3D Printing, Intensity

**\*Corresponding author E-mail: [lbh@tiri.narl.org.tw](mailto:lbh@tiri.narl.org.tw)**

## 一、前言

積層製造俗稱 3D 列印技術，其需資料處理與製造兩道程序的搭配而製造成形，目前 3D 列印的發展已經取得相當大的進步，其被廣泛地創新應用於航太、汽車工業及醫療、食品、建築、服飾產業，例如：火箭發動機、輔助義肢、透明矯正牙套、3D Knitting 技術生產客製化鞋子等，因此製造出來之工件穩定度相對顯著重要。Charles Hull(C. W. Hull, 1986)於 1986 年開發出立體光固化成型 3D 列印技術(Stereo lithography Appearance, SLA)。在 1989 年的專利申請中，這種製造方法被稱為快速原型(Rapid prototyping, RP)。於 2009 年由美國材料試驗協會正名為積層製造並製定了相關標準。積層製造方式大致可分為以下幾類：(1)光聚合固化技術或材料噴塗成型技術(例如：光固化成型(SLA)和聚合物噴射(PolyJet) (B. Liu et al, 2004)(B. K. A. Ngoi et al, 1993)(M. Feygin, 1994)，(2)材料擠製成型技術或疊層製造成型技術(例如：層疊實體製造(Laminated Object Manufacturing, LOM)、熔融擠製成型(Fused Deposition Modeling, FDM)和輪廓工藝(contour crafting)) (S. S. Crump, 1992)(T. A. Almquist et al, 1997)(C. C. Kai, 1997)(Y. N. Yan et al, 2009)，(3)粉末材料製造(例如：選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering, SLS)、直接金屬雷射燒結(Direct Metal Laser Sintering, DMLS)、雷射粉末熔融(Selective Laser Melting, SLM)、電子束熔化成型(Electron Beam Melting, EBM)和黏著劑噴塗成型技術(binder jetting)) (C. R. Deckard, 1997)(M. J. Cima, 1994) (J. M. Smith, 1999)(S. C. Narang et al, 1998)。

David A. Roberson (David A. Roberson et al, 2015)等人以 3D 列印試片進行 Izod 衝擊試驗，使用 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)生產四種不同方向及排列角度之試片，並將試片分為印製之切角及加工之切角，並與其他材料進行衝擊強度的比較，測試結果無論是印製切角或是加工切角皆有穩定之應力，XY 方向為 45°有最好強度值，而 ZXY 垂直方向則是最差強度。Michael W. Barclift (Michael W. Barclift et al, 2012)等人透過 PolyJet Direct 3D Printing (PJD-3DP)進行試片製造，分別以 X-Y 方向成形、Z 方向成形、成形物件距離三大參數印製拉伸試片，實驗結果以 XZT 方式生產試片有最高拉伸強度，而 XZF 方式生產有最差拉伸強度。

本研究之動機為使用積層製造方式製作物件時，懷疑列印的角度會影響產品的特性，因此本研究以積層製造技術中的光固化樹脂成型法為主，選用的材料為 UV 固化光

敏聚合物，其聚合物分子量結構會影響材料的機械、化學及光學性質，使得聚合物具有多樣化的應用與加工特性(S. L. Rosen, 1993)，本研究探討以同一製程參數進行不同角度列印之特性，包含衝擊強度、磨耗特性。

## 二、材料與方法

本研究採用製造商提供的 VeroWhite+835 UV 固化光敏聚合物測試，3D 列印設備為 Stratasys CONNEX 500，以液態噴照方式製備 0 和 45 度之衝擊試片、磨耗試片，並且以衝擊、磨耗試驗檢測其機械性質的變化。衝擊試驗依照 ASTM D256-10(2018) 高分子材料衝擊試驗規範進行衝擊測試，其以 Cometech QC-639T 衝擊試驗機測其衝擊能量，依據規範可以得知衝擊試片尺寸規格如圖 1 所示。磨耗試驗依照 ASTM D4060 - 10 耐磨耗標準試驗方法進行磨耗測試，其以 Taber 耐磨耗試驗機測其耐磨耗性質，依據規範可以得知磨耗試片尺寸為直徑 100 mm 圓形試片，將圓形試片固定於磨耗試驗機的圓盤上，設定轉速 72 rpm、固定在 1000 g 的研磨輪下進行 1000 次磨耗測試，將試片磨耗前、後的重量損失經計算，可得知試片磨耗損失程度。

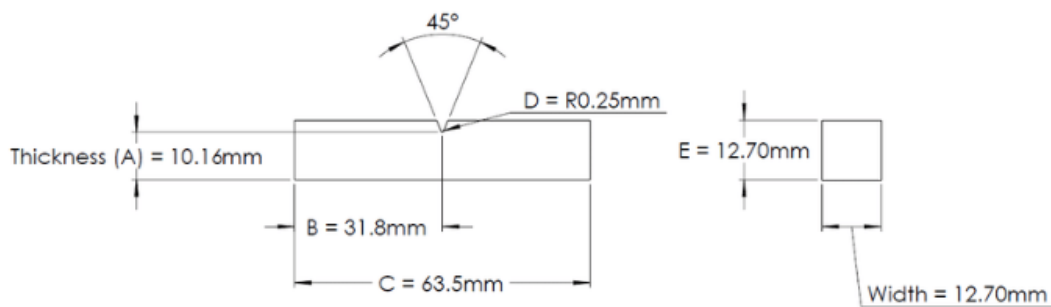


圖 1 Izod 衝擊試片尺寸

## 三、結果與討論

### 3-1. 衝擊強度

依實驗方法進行衝擊試片的不同列印方式，如圖 2 所示，可以分為縱向與橫向，且分別都以 0 度與 45 度角進行列印。圖 3 為衝擊試片的不同列印方式之衝擊強度曲線，由圖中可以發現橫向試片排列的衝擊強度較縱向試片排列強，可能原因為列印方向平行衝擊方向，而該方向僅靠層與層之間的黏著力進行結合，造成縱向試片之結合性差，由數據顯示，當試片列印擺放方向為橫向-0 度、橫向-45 度、縱向-0 度、縱向-45 度時，其衝擊強度值分別為 27.25 J/m、25.01 J/m、17.92 J/m、17.08 J/m，因此，可以得知列印的角度對其試片之衝擊強度無明顯變化。

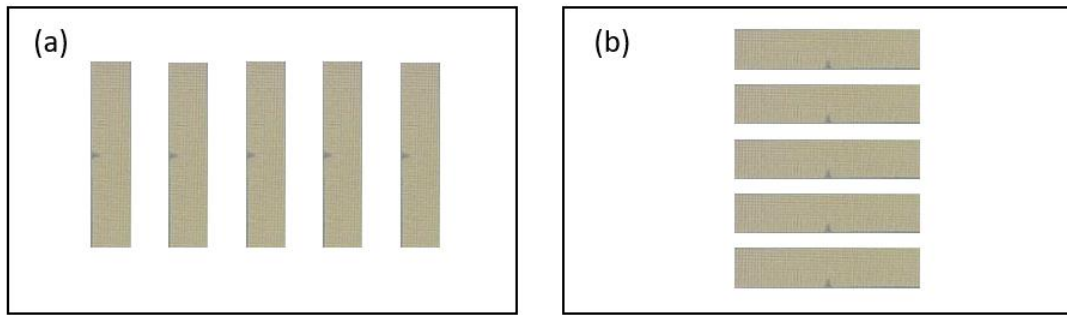


圖 2 衝擊試片的不同列印方式之示意圖(a)縱向(b)橫向

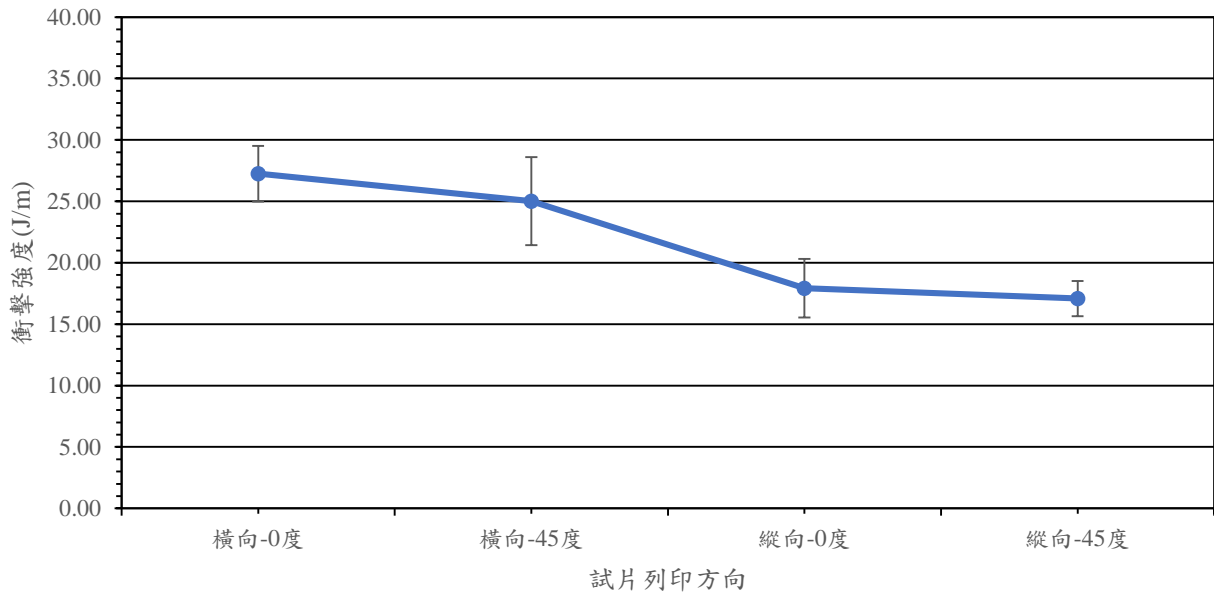


圖 3 衝擊試片的不同列印方式之衝擊強度曲線

### 3-2. 磨耗特性

本研究分別以 0 度、45 度角進行列印，將列印完成之試片分別進行編號為 L1-1、L1-2、R1-1、R1-2、L2-1、L2-2、R2-1、R2-2、L3-1、L3-2、R3-1、R3-2，在 3D 列印機台上可列印之面積範圍的左側，我們將其命名為 L，而於右側，我們將其命名為 R，如圖 4 磨耗試片列印位置圖所示。圖 5 為列印 45 度磨耗試片之完成圖。圖 6 為不同列印角度在不同位置上之重量損失曲線圖，當列印角度分別為 0、45 度時，其重量損失大小明顯可得到 0 度 > 45 度。當列印角度為 0 度時，試片在 L2-2 位置上的磨耗損失重量為 0.0309 g，其耐磨耗特性為最佳，當列印角度為 45 度時，試片在 L2-2、R3-1、R3-2 位置上的磨耗損失重量分別為 0.0271 g、0.0269 g、0.0268 g，有最佳之耐磨耗特性，這可能與 3D 列印機台在進行列印時，其行走之路徑機構有關。由實驗結果可以得知物件之擺放角度、位置，將會影響積層列印產品之特性。

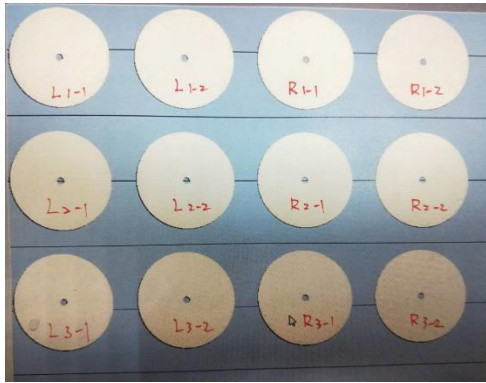


圖 4 磨耗試片列印位置圖



圖 5 列印 45 度磨耗試片完成圖

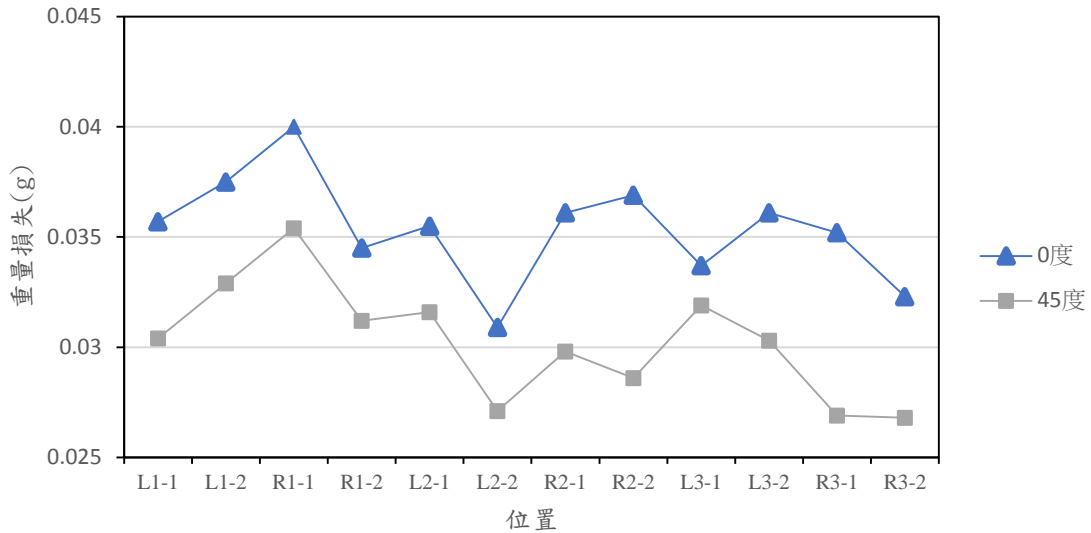


圖 6 不同列印角度在不同位置上之重量損失曲線圖

#### 四、結論

本研究以 3D 列印設備進行同一製程方向列印，在不同位置上進行不同試片排列列印，探討其衝擊強度、磨耗特性。研究結果顯示，當衝擊試片擺放方向為橫向時，其具有最佳的衝擊強度，衝擊強度值為 27.25 J/m。當磨耗試片擺放角度呈 45 度時，具有良好的磨耗特性。因此由實驗可知試片列印方式對於產品物件有一定程度的影響性。

## 參考文獻

- B. K. A. Ngoi, C. K. Chua, S. Ngai, and F. T. L. Tay, 1993, "Development of a stereolithography preprocessor for model verification," *Computing & Control Engineering Journal*, vol. 4, pp. 218-224.
- B. Liu, X. Gong, and W. J. Chappell, 2004, "Applications of layer-by-layer polymer stereolithography for three-dimensional high-frequency components," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, pp. 2567-2575.
- C. C. Kai, 1997, "Three-dimensional rapid prototyping technologies and key development areas," *Computing & Control Engineering Journal*, vol. 5, pp. 200-206.
- C. R. Deckard, 1997, "Apparatus for producing parts by selective sintering," *United States Patent*, Patent No. 5,597,589.
- C. W. Hull, 1986, "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography," *United States Patent*, Patent No. 4,575,330.
- David A. Roberson, Angel R. Torrado Perez, Corey M. Shemelya, Armando Rivera, Eric MacDonald, Ryan B. Wicker, 2015, "Comparison of stress concentrator fabrication for 3D Printed polymeric izod impact test specimens," *Additive Manufacturing*, vol. 7, pp. 1-11.
- J. M. Smith, 1999, "Method for Creating Three-Dimensional Objects by Cross-Sectional Lithography," *United States Patent*, Patent No. 6,391,245 B1.
- M. Feygin, 1994, "Apparatus and method for forming an integral object from laminations," *U.S. Patent*, No. 5,354,414.
- M. J. Cima, J. S. Haggerty, E. M. Sachs, and P. A. Williams, 1994, "Three-dimensional printing techniques," *United States Patent*, Patent No. 4,752,352.
- Michael W. Barclift, Christopher B. Williams, 2012, "Examining variability in the mechanical properties of parts manufactured via polyjet direct 3D printing," *Department of Mechanical Engineering, Virginia Tech*, pp. 876-890.
- S. C. Narang, S. C. Ventura, S. Sharma, and J. S. Stotts, 1998, "Rapid Prototyping Using Multiple Material," *U.S. Patent*, No. 5,980,813.
- S. L. Rosen, 1993, "Fundamental Principles of Polymeric Materials," John Wiley & Sons Inc.
- S. S. Crump, 1992, "Apparatus and method for creating three-dimensional objects," *United States Patent*, Patent No. 5,121,329.
- T. A. Almquist and D. Smalley, 1997, "Thermal stereolithography," *United States Patent*, Patent No. 5,672,312.
- Y. N. Yan, S. G. Li, R. J. Zhang, F. Lin, R. D. Wu, Q. P. Lu, Z. Xiong, and X. H. Wang, 2009, "Rapid prototyping and manufacturing technology: Principle, representative technics, applications, and development trends," *Tsinghua Science and Technology*, vol. 14, pp.1-12.