

金屬積層製造應用於模具透氣性之最佳化探討

Optimization of Gas Permeability of Molds Using Metal Additive Manufacturing

許定洋^{1*}、郭啟全¹、楊欣宜²、游鴻瑋³

¹明志科技大學工業設計系

²明志科技大學機械工程系

³馬路科技顧問股份有限公司

E-mail: hsuchiapin@mail.mcut.edu.tw

摘要

模具業被稱為“工業產品之母”，而“模具”為製造業不可或缺之元件。塑膠射出成形目前在傳統工業與高科技產業都是很重要的生產流程，而在整個射出成型製程中最重要的兩個關鍵提升射出機性能與模具設計改良。目前在射料射入模具模穴內同時，因射出時間的縮短造成排氣效果變差，使氣體跑入製(成)品中或瞬間產生真空，造成氣體無法排出，現今多以加入透氣鋼的方式來解決。但目前市售透氣鋼材價格昂貴且性能有相當多的局限性，因此本研究利用金屬積層製造技術所產生的孔洞性來應用於模具上，使的氣體跑入模穴就從周圍的孔洞排出，避免真空現象發生。研究透過統計迴歸分析方法，以不同參數進行金屬透氣性分析，從過程中得到一個最佳金屬積層製造技術應用於透氣性模具的參數建議。

關鍵詞：金屬積層製造、模具透氣度、迴歸分析

1. 問題描述

近年來，積層製造 (additive manufacturing, AM) 工藝和材料運用技術發展[1]。美國材料和試驗協會(ASTM) 已經將AM定義為從“從三維模型數據中加工材料以製造物體的過程，以遞增方式製造，而不是減法製造技術” [2]。目前常見的 3D 列印成型技術有下列幾種：選擇性雷射熔融(selective laser melting, SLM)、選擇性雷射燒結(selective laser sintering, SLS)、光固化立體造型 (stereolithography, SLA)、熔融沉積造型 (fused deposition modeling, FDM) 等技術[3]。

而沖壓、鍛造、壓鑄及射出成型等方式製作成品是現今製造業中最常見的方式，且大多數這些製造方式都需先開發模具。目前製造業大多透過大量快速生產、良率提高來提升市場競爭力，其中以射出成型製作大面積薄件，如汽車安全桿、筆記型電腦外殼等，所以在模具設計與材料選用部分是國內業者最能著力的部分[4]。塑膠射出成型為目前最快速之成型製程，但因產品外觀、模具設計、機台結構上的不同以及限制，成品可能會有包風、毛邊溢料、外觀平整度不高、充填不足、結合線以及應力殘留所造成的翹曲、精度不良等問題[5]，且一般常使用的材料通常是以PP、PC、ABS等材質進行射出 [6]，而為了能製造更薄、強度更強的外殼，通常都會再原本塑料中再加入玻璃纖維[7]，但加入玻璃纖維後，卻使射出料黏度增高，造成不易射出成型，所以必需以高溫高壓及快速充填方式將熔融的熱塑性材料注入模穴中，因為縮短了射出時間，使氣體跑入製(成)品中或瞬間產生真空，造成氣體無法排出。

包風(Entrapped-air, Air-traps)是很常見到的現象；當模具閉合時，模穴內會充滿著空氣，

使射出成型時塑料的擠壓，無法迅速將空氣疏散，使空氣接觸到高溫的塑料並且燃燒時，會使塑料燒焦或因空氣佔據了模具尾端而產生缺口現象。防止的方法，可以增加逃氣孔或利用頂出銷孔的間隙，急速排出殘留在模內的空氣，也可以利用減慢射出速度，使氣體有足夠的疏散空間。[8,9,10] 目前大多使用透氣鋼，透氣鋼是一種由細顆粒圓球體粉末不鏽鋼經高溫燒結而成，內部各個方向均勻布滿微小排氣孔，也叫多孔材料或多孔金屬。鑲件是使用透氣鋼的方法，鑲件就是除了主體的鋼料外的鑲嵌進去的零件。其實鑲件最大的缺點就是降低了模具本身的強度。下表一為目前市面上透氣鋼之物理特性。

表1 現有透氣鋼之物理參數

品名	透氣鋼
平均孔徑	7micron 至-38micron
氣化量	~25%
密度	6.3~6.5g/cm
屈曲強度 kgf/mm	70~75
拉伸強度 kgf /mm	45~50
硬度(HRC)	35-40
加工性能	好

模具鑲件如下圖一所示，因為需要氣體排出，在模具製作過程中必須要將模具進行鑽孔，如果大型物件的話，需要多製作幾個排氣管路，如此一來，整個模具會有多個圓孔穿透，會嚴重影響模具強度。

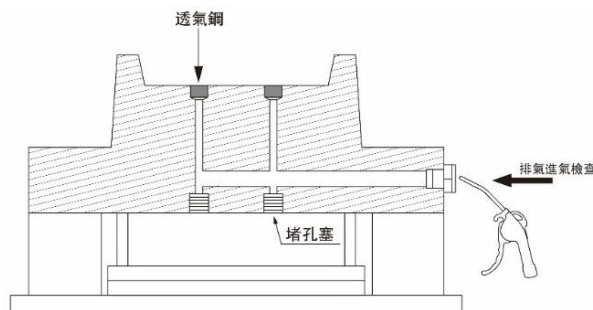


圖1 透氣鋼鑲件的方式

2. 方法對策

依上述問題描述，本研究提出可行的方法對策與解決方案。利用金屬堆積成型的多孔性的特性，在塑膠射出成型時將模腔內的氣體引導至型腔外部。此製作的優點是不用在模具上多做穿孔保持模具的強度，其外觀造型也不限於傳統的透氣鋼，可以依據需求製作多種形態的設計。如圖二，在模具易包風處，置入金屬堆積的鑲件，讓鑲件引導氣體至型腔外部。不過，要能夠應用在模具上的排氣鑲件，要符合兩點重要的特性，一個是要能夠透氣，二是硬度要夠，能符合射出模具的需求。本研究為了利用此金屬積層堆積特性，使用不同的參數找尋列印的最佳透氣度與硬度。

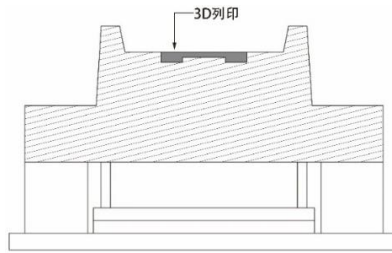


圖2 金屬積層堆積鑲件排氣示意圖

2.1透氣度測試

厚度會影響透氣度，透氣鋼較常用的透氣厚度為3~5mm，故本研究試片大小為設定30x30x5mm之正方形試片，測試機台如下圖3。透氣度的測試過程如下：1. 將氣源加裝至透氣測試機上。2. 開啟開關。3. 將試片放入透氣測試機內。4. 將把手壓下，並開啟開關。5. 轉動氣壓鈕，並先歸零，在將進氣數值調整到0.5psi(一般塑料射出的模腔壓力)。6. 流量表所顯現數值(單位為lpm)為此試片之透氣度，如此方式依序測試三次取其平均值。



圖 3 透氣度測試機台

2.2硬度測試

硬度測試使用洛氏硬度測試機，其機型如下圖4。硬度的測試過程如下：1. 選擇適當的釵座在機台咱並清潔之。依照材料狀況選擇並設定適當之壓痕器及荷重。2. 試片表面平坦，測定面與底面要平行，並避免產生間隙。3. 基本荷重之歸零操作。4. 在Sec之後10秒內，按下加力鈕，則大荷重(60, 100或150 kg)會慢慢地作用在試片上，此時長指針反時針方向旋轉，順時針方向讀取刻度盤之紅(或黑)刻度之讀數，即得硬度值。5. 重複上述步驟，測試五點求取平均值。6. 試驗完畢，取下試片。

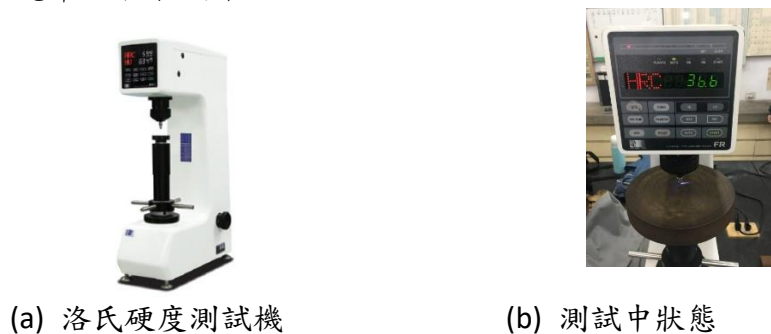


圖 4 硬度測試機台

2.3 孔洞檢測

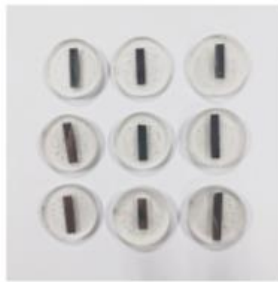
研究使用之金相顯微鏡為 OLYMPUS BX53M 型號，以肉眼觀察，再利用電腦輔助程式量測孔洞直徑大小，進行方式如下：1. 將上試片透過鑲埋將切銷過的部分試片鑲埋（圖 5a），2. 灌入環氧樹脂後（圖 5b），再進行研磨拋光，使表面成光滑平面（圖 5c）。3. 透過金相顯微鏡以倍率五倍進行觀察，透過觀察可得知雷射燒結之孔洞數量，4. 本研究再佐以電腦輔助軟體 QuickPHOTO INDUSTRIAL 量測燒結孔洞大小，計算三次後平均。



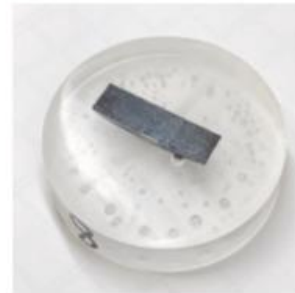
圖 5 金相顯微鏡



a. 切銷過的部分試片鑲埋



b. 灌入環氧樹脂



c. 研磨拋光

圖 6 試片製作過程

3. 問題解決

依上述所提試驗方法，本研究案利用各種不同參數進行上述的試驗，可以得到下列表二至表四的數據。表二中可以得知在層厚 $30\mu\text{m}$ 下，雷射間距 $130\mu\text{m}$ 以上的透氣量是幾乎近於0的。故在進行透氣鋼設計時；而層厚也會跟著顯著影響透氣度，在層厚超過 $40\mu\text{m}$ 時透氣度會明顯的增加，故雷射間距與層厚，是控制透氣度的重點。表三與表四中也可以看出，硬度與孔隙要與市售的透透氣鋼比較的話，層厚最好都在 $40\mu\text{m}$ 以下。

將數據進行迴歸分析，可以得到下列結論，雷射間距 $160\mu\text{m}$ 雖可以得到較佳的透氣性，不過硬度都會在30HRC以下，不符合模具射出硬度使用，故建議雷射間距設定在100至 $130\mu\text{m}$ 之間。層厚影像透氣效應與硬度， $30\mu\text{m}$ 的硬度可以達到標準，不過透氣度都不佳，故層厚建議設定在35~ $40\mu\text{m}$ 之間。雷射功率與雷射速度對透氣度的影響並不顯著，建議維持原本的設定值雷射功率在45至50瓦間，速度設定在200mm/s。

表二 各個參數測試透氣度結果

雷射功率(W)	層厚(μm)	雷射間距(μm)	雷射速度(mm/s)	透氣度(lpm)
50	30	60	200	0
50	30	70	200	0
50	30	90	200	0
50	30	130	200	6.52
50	30	160	200	16.9233
50	35	160	200	13.96
50	40	160	200	40.52
50	45	160	200	81.7833
50	50	160	200	78.2033

表三 各個參數測試透氣度結果

雷射功率(W)	層厚(μm)	雷射間距(μm)	雷射速度(mm/s)	硬度(HRC)
50	30	60	200	36.37
50	35	60	200	37.44
50	40	60	200	36.69
50	45	60	200	31.10
50	50	60	200	33.45
50	30	50	240	40.01
50	40	60	200	40.53
50	50	70	160	30.71
45	30	60	160	40.41
45	40	70	240	36.78
45	50	50	200	32.58
40	30	70	200	37.96
40	40	50	160	39.25
40	50	60	240	32.23

表四 各個參數孔隙量測結果

雷射功率(W)	層厚(μm)	雷射間距(μm)	雷射速度(mm/s)	孔洞大小(μm)
50	30	50	240	21
50	40	60	200	8
50	50	70	160	9
45	30	60	160	10
45	40	70	240	15

45	50	50	200	19
40	30	70	200	14
40	40	50	160	18
40	50	60	240	17

4. 產業應用

此次的研究發現可以取代透氣鋼制式化與減弱模具強度的缺點，在不同參數的列印下，可以達到客製化的透氣程度，更可達到客製化的造型，不但保存了模具強度，也維持了透氣的特性；之後更可以利用金屬3D列印可一次性、一體化、高效率地加工完成具有內部異形水路和局部排氣功能，為塑膠射出成型行業的廣大客戶提供一種新型的模具零件選擇。

5. 誌謝

承蒙馬路科技顧問股份有限公司的支持，使本案例得以順利解決，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. Everton, S. K., Hirsch, M., Stravroulakis, P., Leach, R. K., & Clare, A. T., 2016, Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing. Materials & Design, 95, pp.431-445.
2. Frazier, W. E., 2014, Metal additive manufacturing: a review. Journal of Materials Engineering and Performance, 23(6), pp.1917-1928.
3. 林鼎勝，2014，3D列印的發展現況，科學發展，503 期，頁32-37
4. 傅兆章，郭鑑瑩，2002，模具材料的選用及處理，機械月刊，第二十八卷，第六期，pp. 90-98，
5. 蔡毓斌，徐瑞坤，2009. 塑膠射出成型之結合線與殘留應力之改善研究，國立交通大學機械工程學系博士論文，新竹，台灣。
6. http://www.njlhcc.com/chinese2/aboutus_lih an.htm
7. 陳可娟，於淼邈，2007. 玻璃纖維增強阻燃PC／ABS合金性能的研究，功能材料，pp. 2832-2835。
8. 陳昌泉，1998. 塑膠成型技術與實務，弘揚圖書，台北，台灣，pp.52-53。
9. 劉守一，2001. 最新實用塑膠成型加工，復漢出版社，台北，台灣，pp.23-24。
10. 林滿盈，2010. 塑膠成型品設計與模具製，全華圖書，台北，台灣，pp.105-106。