

金屬3D列印的異型水路模仁運用實例探討

Case study of application of 3D metal printed conformal cooling inserts

鄭坤木^{1*}、鄭振東²
Coleman Cheng^{1*}, Emerson Cheng²

鉅太精密工業股份有限公司
Easton Precision Industries Corp.

*E-mail: coleman@easton.com.tw

摘要

金屬 3D 列印並非近幾年的技術，早在 20 多年前，德國廠商就已經發表了運用金屬 3D 列印的技術所加工的模仁。但是礙於當初的技術及列印產品的穩定性，列印出的模仁金屬密度不高，強度也不足於抵抗高射出壓力，所以只能應用於暫用模具或一般學術研發的產品，而且尺寸約在 50mm³ 左右。根據當時廠商所建議的數據，一塊模仁的壽命大概在 50 到 100 模次。

今天，金屬 3D 列印已不再是高尖端的設備，從以前暫用模具的觀念已經進步到可以量產的模仁，並更進一步超越傳統或五軸加工機的限制。異型水路的應用就是一大突破。塑膠射出成型除了模具加工的精準度，成型週期的長短往往是接單的一大主因。異型水路可以將冷卻系統更接近塑膠成型面，加快熱量的排出，並且可以提供模仁表面更平均的溫度。藉由此技術，依照產品的大小，成型週期可以縮短 10%到 35%。成型的品質如縮水痕跡，接合線，尺寸都更加理想。也提供產品更高的經濟價值。然而享受異型水路所到來的優勢同時，在模具的維護及保養就更加需要加強。由於金屬列印是採用積層製造的製程，所以在產品的表面會產生微細的階層，導致冷卻水中的雜質累積在此表層上，如果沒有進行定期的保養，水路表面容易生鏽而堵塞，反而形成冷卻的死角。

關鍵詞：縮短成型週期，異型水路，金屬3D列印，射出模具（關鍵詞以不超過5個為原則）

1. 問題描述

我們知道塑膠射出製程中，有幾個關鍵性挑戰，例如克服縮水問題、增加模具冷卻效果、縮短成型週期，等。其實這些問題點都有其技術上的關聯性。在此文中，我們要透過實例來探討如何運用異型水路的模仁，改善射出成型產品的外觀(縮水)(如圖1)、尺寸、及成本。

實例中的產品是一個割草機的葉片(Impeller)(如圖2)。它的主要功能是可以運用約 4300rpm的高轉速產生不同的壓力，讓割草機可以浮動在草坪上進行割草的作業(如圖3)。由於是高轉速中的葉片必須要呈現非常穩的平衡，不然會導致整個產品的震動，以及損壞電動馬達的轉動零件，當然最重要的是使用者安全考量。

要達到葉片平衡的要求，射出成型製程中就必須要考慮到如何讓充填更加均勻，產品平均肉厚的穩定性。不過葉片的設計必須考量在割草中會有小石礫或其他非雜草的異物碰撞到

葉片，因此產品的肉厚都需要在3mm左右，加上一些補強肋條的位置及深度，影響了冷卻的效果。為了滿足品管的要求，目前只能利用加長卻時間，讓產品在模具內就可以達到尺寸的問題。不過射出成型的週期時間需要延長到65秒，實在太長。由於模具的產能必須保持1年20萬模次，相對增加了產品成本中的成型成本。原始設定的週期為45秒，也就是每一模次就要增加20秒的成型成本。如果以每年20萬模次的生產計劃為基準，就會增加了約46天的生產時程。單就機台的生產成本每年就要增加25,000英鎊左右(約NT\$970,000)。

終端客戶提出挑戰，要求我們必須在開新模具時保證週期及年產量。其實對於任何模具製造商，接受挑戰是一件很榮幸的任務(代表客戶對我們的信任)，然而要減少40%的週期並非小改變。

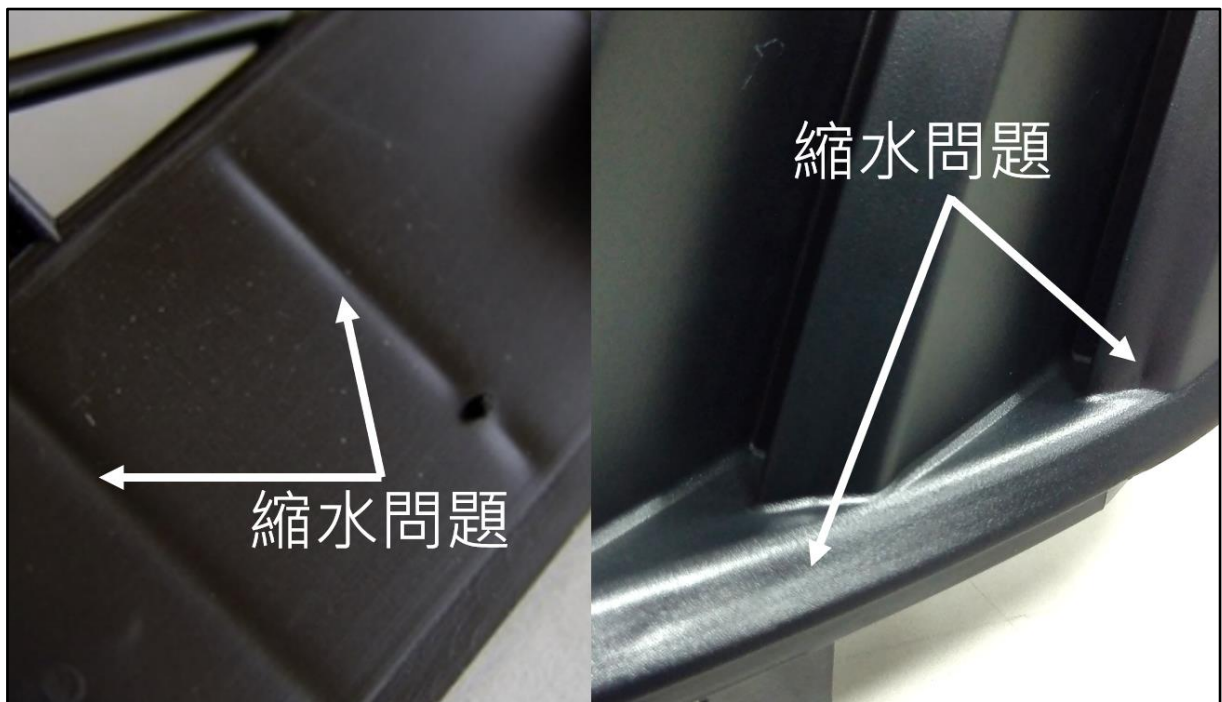


圖1. 縮水

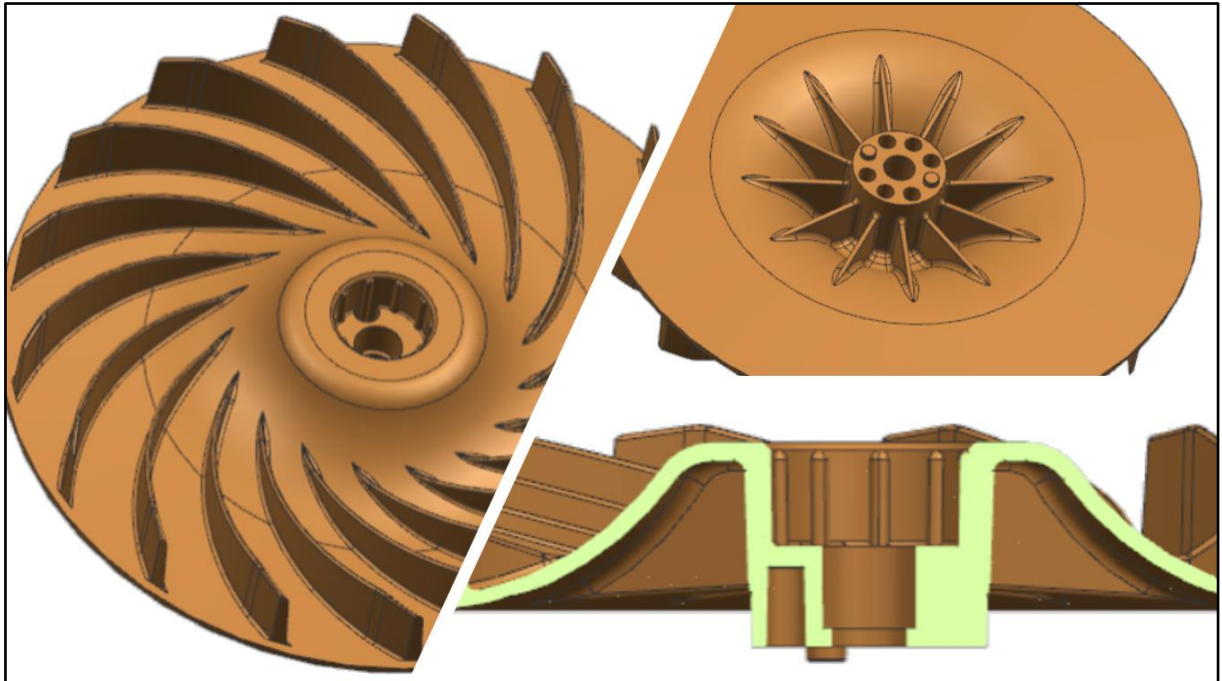


圖2. 葉片的3D CAD設計圖示

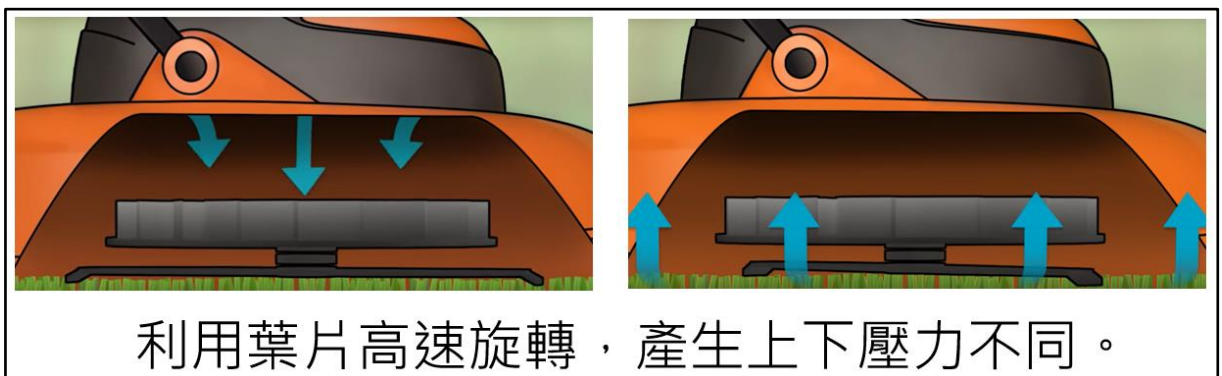


圖3. 葉片旋轉的功能圖示

2. 方法對策

一般對於改善冷卻的想法就是增加水路，加大水路尺寸，或者射出成型時使用冷凍水。但是必非每一組模具都能夠如心所欲的增加水路或其尺寸，因為產品的幾何設計會限制水路的設計，更何況模具還有頂出的零件必須放置在正確的位置，才不會導致頂出不順。

接下來就必須研究如何在有限的空間中做到最好的冷卻效果。依照客戶的原始設計(圖4)，水路是傳統的加工方式，也就是直線加工(深孔鑽)。這樣的冷卻有一定的效果，但是如何增加冷卻效果呢？除非水路要更接近塑膠面，也就是溫度最高的部分。

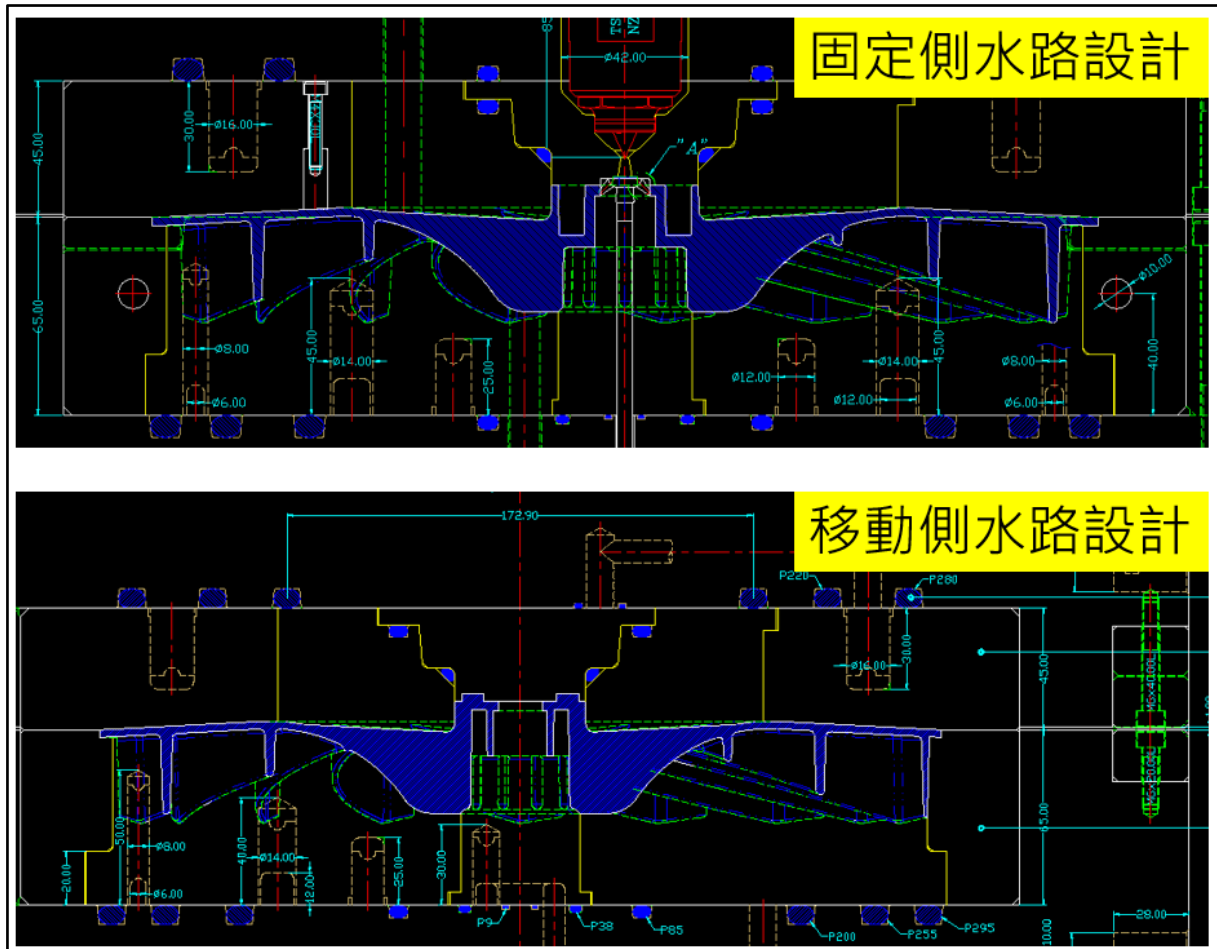


圖4. 原始水路設計

經過之前與德國3D列印設備廠商EOS在展覽時的討論，我們積極建議客戶採用金屬列印的技術，透過這個製程可以將原先無法接近高溫面的冷卻水路逐一的往模面移動，讓冷卻水可以快速的帶走熱能以達到快速冷卻的效果。

產品的原料是Lustran M406 ABS，料管溫度會設定在230°C到245°C，模溫設定為70°C，如原廠商物性表所建議的數據(圖5)。

Processing Properties	Metric	English	Comments
Melt Temperature	240 °C	464 °F	Injection Molding; ISO 294
Mold Temperature	70.0 °C	158 °F	Injection Molding; ISO 294
Injection Velocity	240 mm/sec	9.45 in/sec	Injection Molding; ISO 294

圖5. Lustran M406物性表

經由EOS公司的建議，我們提供給客戶完全超出傳統設計的方案。將原模具生產時溫度最高的部分使用異型水路的設計取代原水路。並且依照EOS的建議將水路的直徑作部分修改。完成的模仁水路設計方案經過客戶的同意及預算的確認，委託數可公司依我們設計的模仁進行加工分析。

本次採用的金屬3D列印適用EOS M280機台，並採用EOS原廠建議的馬氏體時效鋼 (Maraging Steel)。還有為了節省金屬列印的成本，我們建議用複合加工方式(Hybrid Process) (圖6)，也就是不需要一型水路的部分則採用相容性的鋼材。這樣可以節省3D列印成本及加工時間。然而在初期準備基座鋼材時就必須要考慮到EOS M280沒有定位功能的問題，所以需要

多一點的鋼材預留。建議放到0.5mm的預留值。

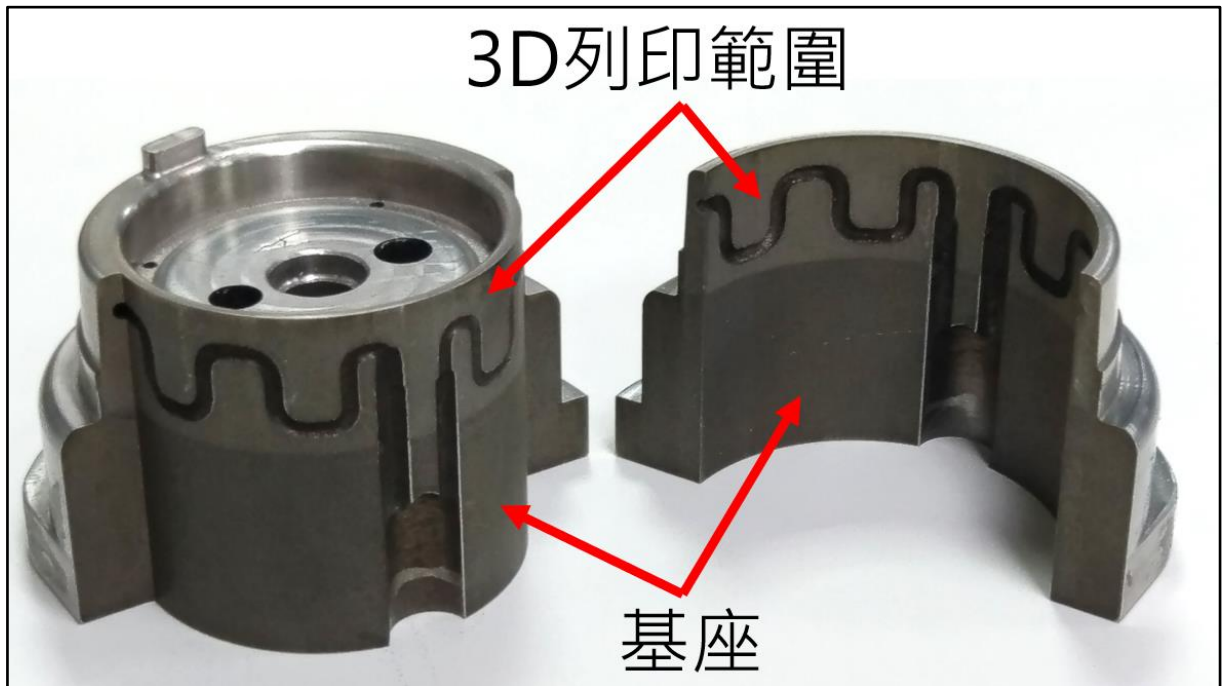
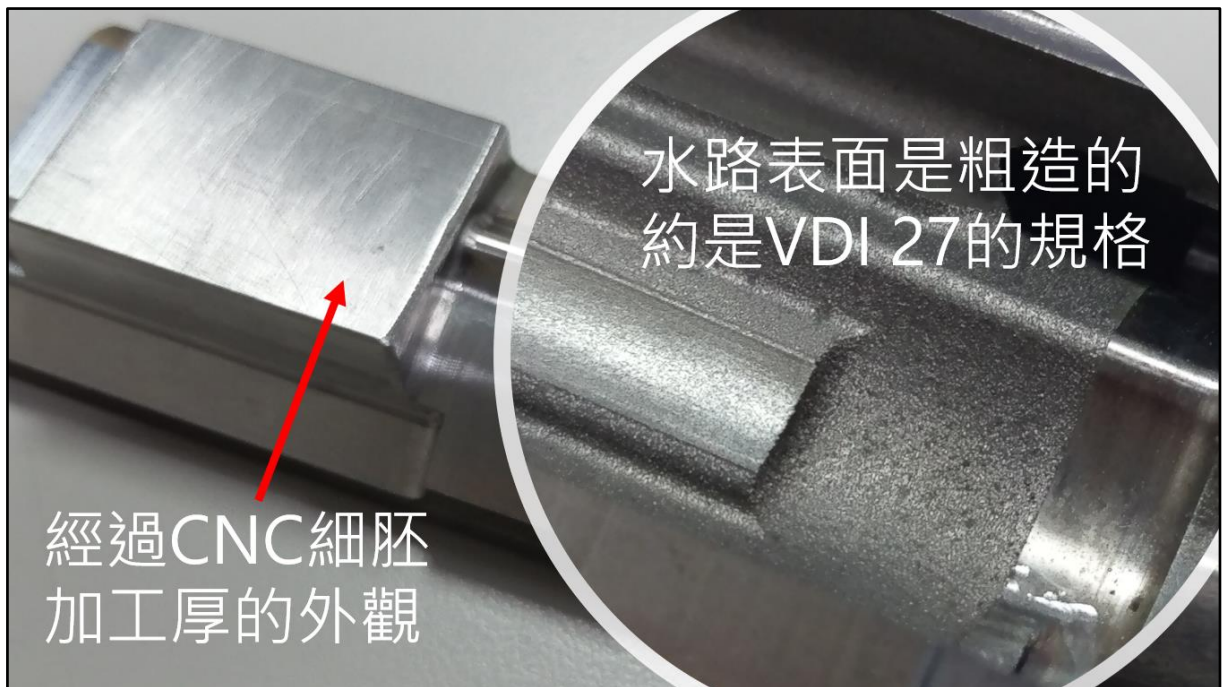


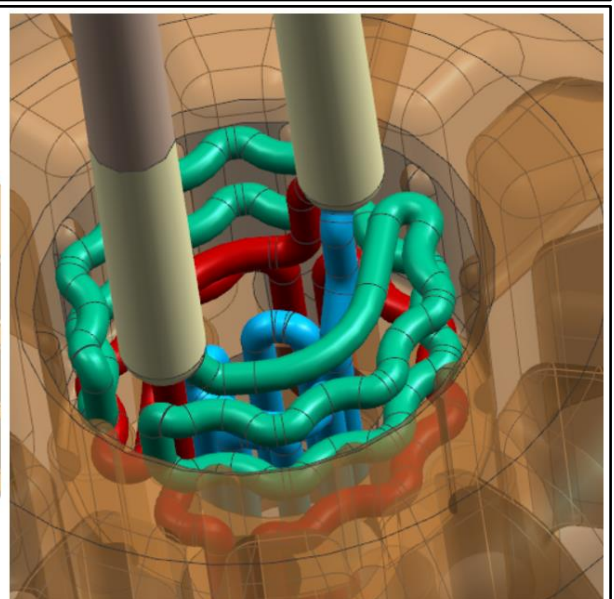
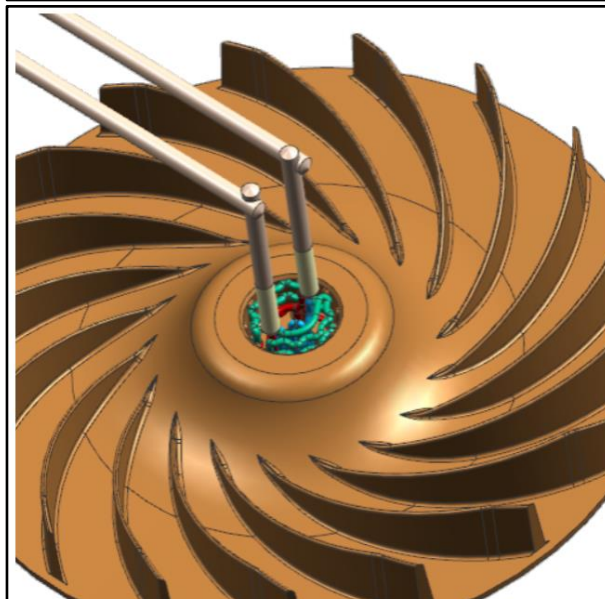
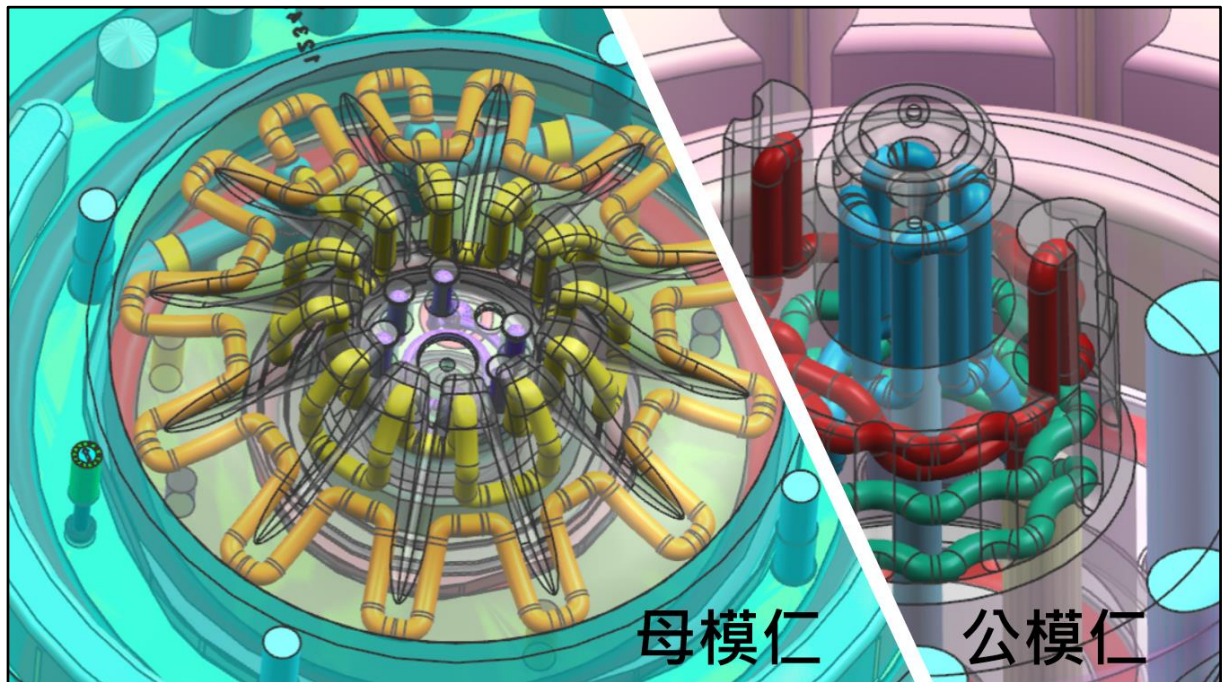
圖6. 複合式3D金屬列印

在應用複合式列印時，務必要記得它只能從同一平面開始列印，如果同時列印不同高度的模仁，就必須特別注意此問題。另外列印的異型水路表面必須要做二次CNC的細胚加工，主要是將模仁調整為正確的尺寸(或中心位置)，另外就是去除原協助定位用預留的鋼材。雖然模仁外觀是光滑的，但是水路表面是粗造的(圖7)。

由於冷卻水會有雜質，因此異型水路的設計必須要避免太過小的直徑，盡可能轉角處用弧度而不要用直角。



經過一番的討論及修改，異型水路模仁的設計終於如願完成(圖7)。



公模側溫度最高的位置改用異型水路設計

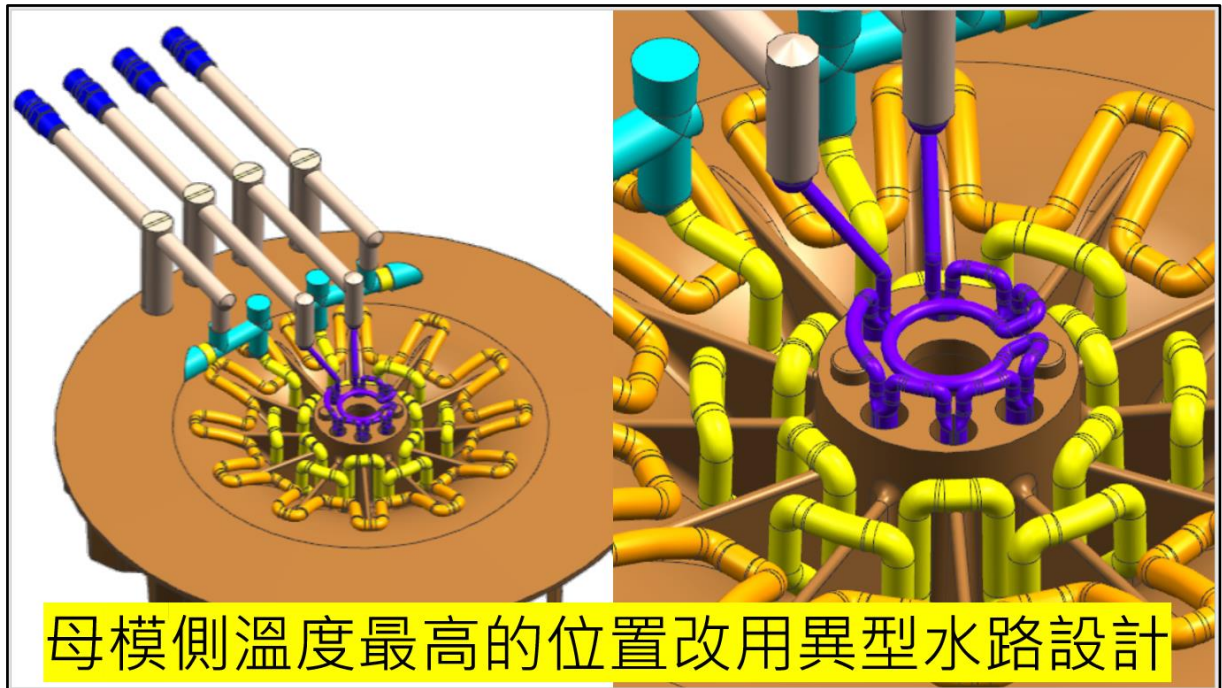


圖7. 模仁的異型水路設計

3. 問題解決

依照客戶實際模具生產的週期可以驗證異型水路的運用，實際上減少了約25到30秒的成型週期，如果以客戶原生產計畫45秒來計算，每一模次更節省10秒。每年20萬模次已協助客戶省下約23天的生產時間。

異型水路模仁的增加成本約7,500英鎊(NT\$285,000)左右，而客戶減少週期所節省的成型成本約9,500英鎊(NT\$360,000)。因此在一年內客戶可以回收模具增加異型水路模仁的額外成本，更可以提供穩定的產品尺寸及外觀(圖8)。也就是說針對此案例，異型水路的應用可以有即時的效益產生，而且投資回收也在一年內可以達到。



圖8. 實際射出成型產品外觀

在使用異型水路模仁上，務必要注意冷卻水或冷卻液的純度及乾淨度。如先題所述，水路表面是粗造的，所以必須要使用乾淨的冷卻媒體，再不然就是要在進水前加裝一個過濾器(圖9)，此過濾器最好是外觀透明可以隨時讓操作人員看到濾心的狀況，以便隨時更換。

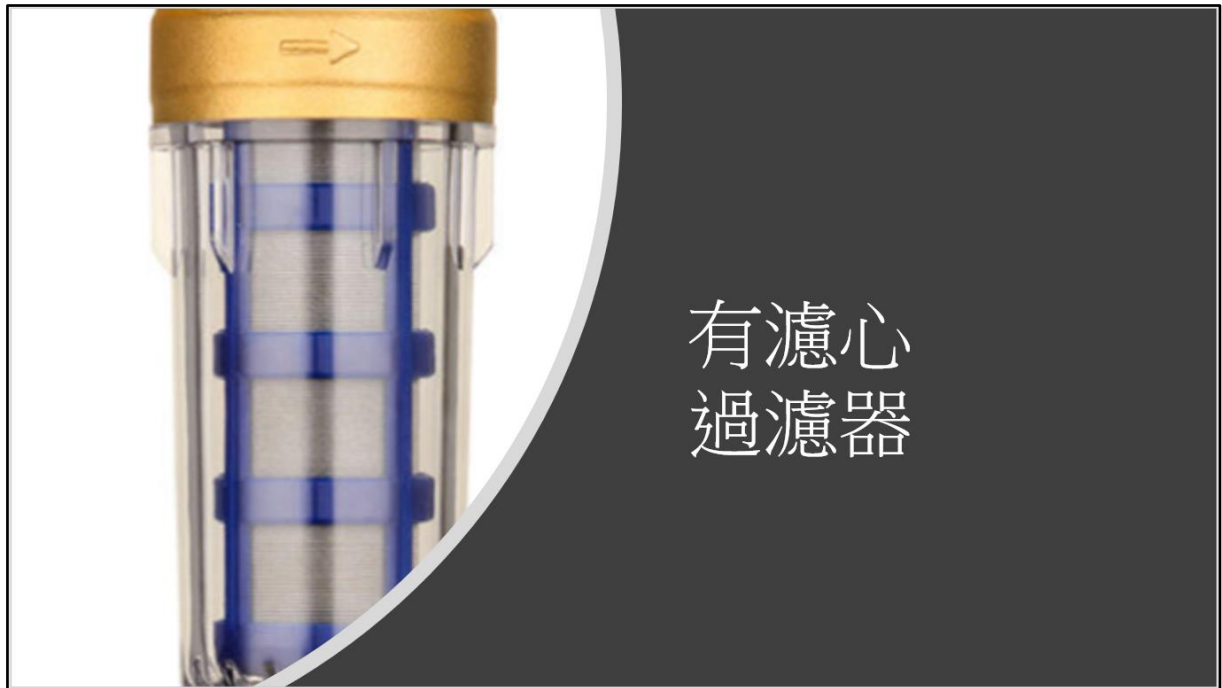


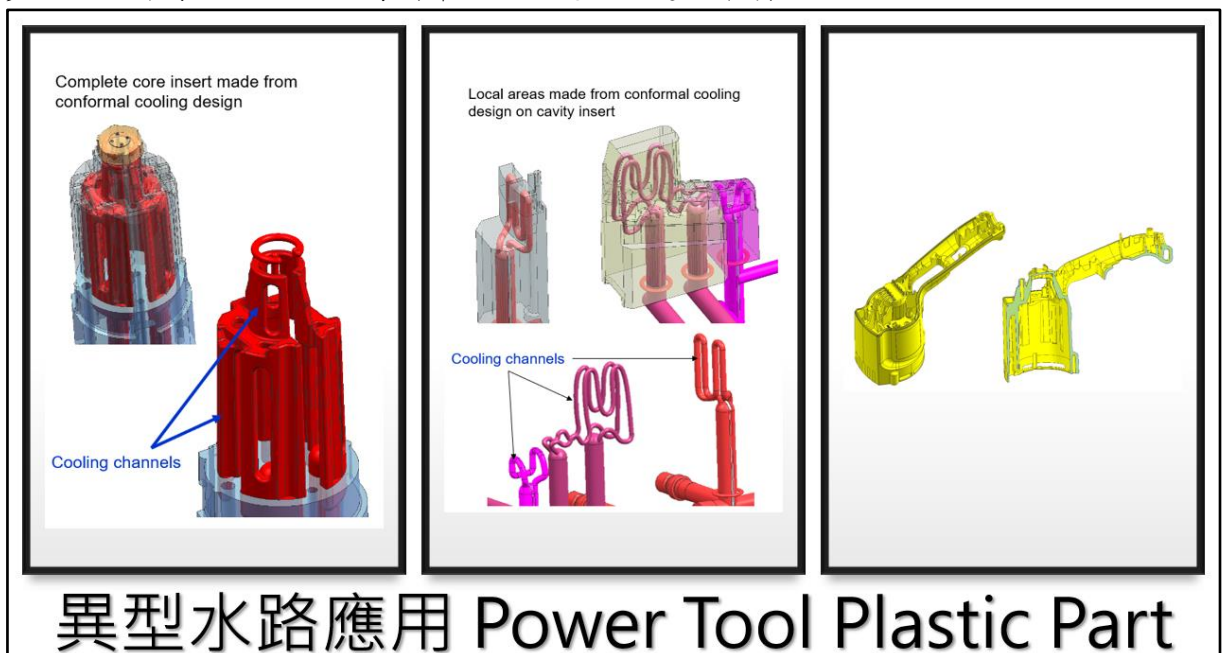
圖9. 過濾器

4. 產業應用

其實異型水路的應用不僅限制在縮短成型週期，有部分客戶是為要尺寸穩定，避免外觀咬花的差異性。

下面實例就是客戶對於產品局部要求的應用。(圖10, 11)

目前的應用範圍越來越廣泛，金屬列印設備的成本也逐漸降低，加上可使用的金屬也越來越多。這些都有助於將3D金屬列印的應用更加快速及平價。



異型水路應用 Power Tool Plastic Part

圖10. 應用範例 - 電動工具

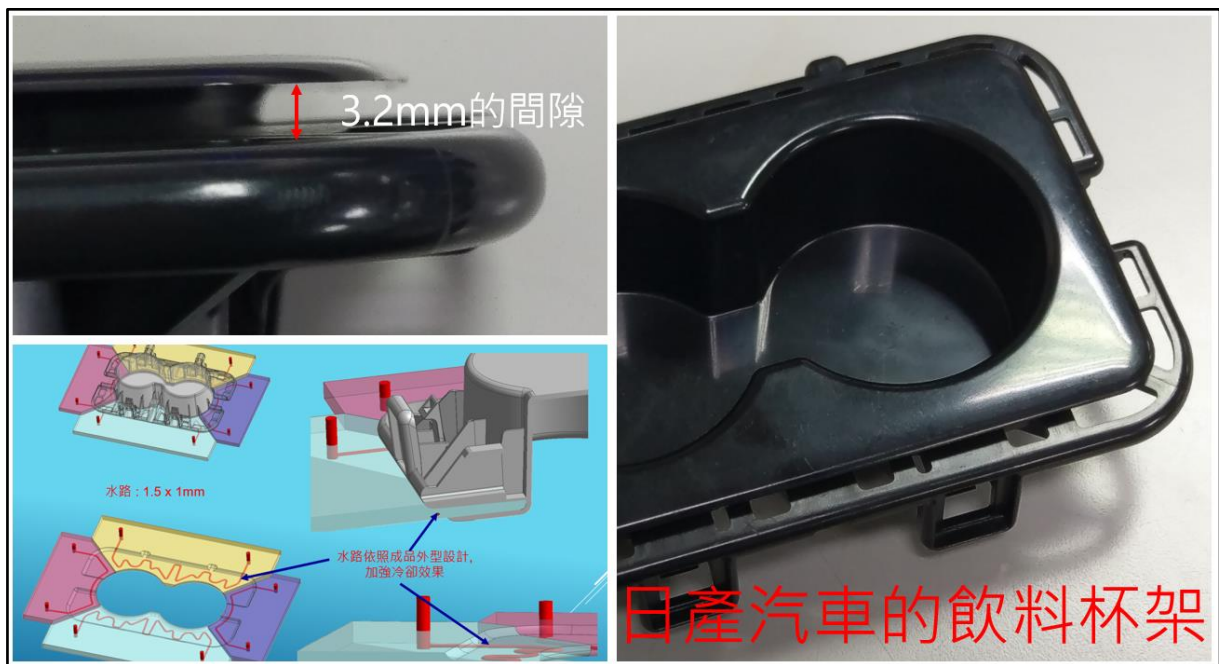


圖11. 應用範例 - 汽車飲料杯架

本段描述本案例主要的成果貢獻及可能的產業應用。如有參考文獻，亦請標出序號於方括弧內，並依循其出現先後編號，如：期刊[1]、書籍[2]、研討會論文[3]、學位論文[4]、研究報告[5]及專利[6]等。希望這些說明能對您準備本次研討會文章有所幫助，並且期待您的投稿。如果有任何問題，請利用本次大會論文委員會之電子信箱聯絡(黃小姐): sandy@Tmdia.org.tw

5. 誌謝

承蒙EOS公司及LBC公司的技術指導，更要感謝瑞典及美國客戶的支持，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. GPI Prototype & Manufacturing Services, 2012, Whitepaper : Conformal Cooling Using DMLS, page 8.
2. <https://www.eos.info/material-m>
3. <http://www.matweb.com>