

### 【金屬3D列印技術的發展與產業應用】



主編：鄭正元 教授 (臺灣科技大學)

- 開發模擬軟體分析3D金屬列印加工之參數優化
- 雷射選區重熔3D列印技術研究
- Near Net Shape接近淨型
- 兼具強度及韌性之無鈷麻時效鋼粉末
- 積層製造2.0



### 金屬3D列印技術的發展 | 金屬3D列印產業應用

隨著時代的發展，越來越多的產品走向少量多樣的需求，此時一般的金屬成型工藝已無法滿足需求，因此人類開始將目光集中在積層製造——3D列印。

目前金屬3D列印主流是以粉體床熔合法與黏結劑噴射法為主，且原料皆以粉末態為主，故各式粉末處理技術就顯得相當重要，例如怎麼篩分粉末的粒徑大小，以及粉末表面狀況的控制，甚至必須將粉末與黏結劑做預先混合以達到列印成型的最終目的。本期邀請到多位學界與業界專家來為各位詳細說明金屬3D列印技術之發展與應用。



發行單位 台灣區電腦輔助成型技術交流協會  
製作單位 型創科技顧問股份有限公司  
發行人 蔡銘宏

#### 總編輯

蔡銘宏 理事長  
鄭正元 教授

美術主編 莊為仁  
企劃編輯

林佩璇  
簡恩慈  
許正明  
徐心怡  
李知蓁

#### 技術支援

葉雲鵬 助理教授  
許啟彬 助理教授

#### 專題報導

專題主編 鄭正元 教授

#### 特別感謝

高速 3D 列印研究中心  
劉書承

#### 感謝合作單位

成功大學、清華大學、臺灣科技大學、溢井、昱竝國際、  
惠普資訊科技、實威國際、安集科技、Sodick



出版單位：台灣區電腦輔助成型技術交流協會  
出版地址：台灣 220 新北市板橋區文化路一段 268 號 6  
樓之 1

讀者專線：+886-2-8969-0409

傳真專線：+886-2-8969-0410

雜誌官網：<http://www.caemolding.org/cmm>

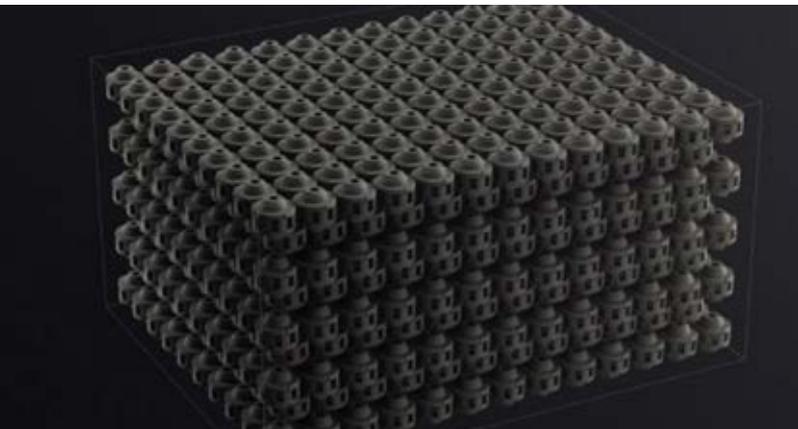
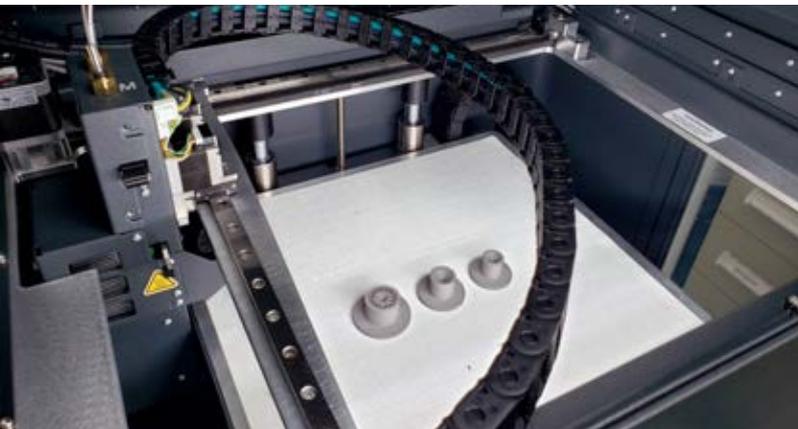
# 目錄 Contents

## 金屬 3D 列印技術的發展

- 76 開發模擬軟體分析 3D 金屬列印加工之參數優化
- 78 雷射選區重熔 3D 列印技術研究開發新型金屬材料之契機
- 82 Near Net Shape 接近淨型：金屬粉末積層製造
- 88 兼具強度及韌性之無鈷麻時效鋼粉末
- 92 積層製造 2.0：金屬 3D 列印產能進入量產新世代
- 94 HP 3D 智慧製造大幅縮短新產品上市週期

## 金屬 3D 列印技術的產業應用

- 96 金屬列印機 Markforged Metal X 之業界應用案例
- 98 四兩撥千斤的金屬 3D 列印
- 100 3D 水路的設計方法





### 鄭正元 教授（臺灣科技大學）

#### 現職

- 臺灣科技大學 機械工程系特聘教授
- 臺灣科技大學高速 3D 列印研發中心主任

#### 經歷

- 台科三維科技公司創辦人兼法人董事
- 中國工程師學會 傑出工程教授獎

#### 專長

- 雷射加工、3D 列印、積層製造
- 光機電工程學、光機電化整合技術
- 研發管理：專利佈局分析與競爭者專利分析
- 跨領域整合

## 金屬 3D 列印技術的發展與產業應用

閃閃發亮的金屬，一直吸引人們的目光，當金屬因光的折射與反射展現出神秘的光澤時，總會使人失去抵抗力，且金屬總是出現在各個重要場合（例如結婚）。金屬製品在許多場景皆有畫龍點睛的效果，只要在某個物件上適當的設計一些金屬件在上面，就可使該物件的價值獲得提升，最常看見的就是包包與服飾等。當然，金屬本身的優點也很令人著迷，金屬本身的導熱性形成的冰冷感及金屬密度所帶來的沈重感與金屬特有的光澤，三者合起來形成所謂金屬質感，這是其他材料所沒有的。金屬的強度與耐用性也是其他材料無法達到的，金屬的回收性更是世界公認照牌價收購，因此金屬總能輕易引起話題。

### 金屬加工法的演進

公元前四千年，人類第一個會使用的金屬加工方法是澆鑄（鑄造法是第一代金屬成型法，意指將固態金屬融化成液態後，澆鑄到模型裡）。然後，在公元前三千年進入青銅器時代，這時金屬鍛造工藝盛行，也就是金屬的塑性加工（鍛造法是第二代金屬成型法，可提升材料密度與強度）。

直到公元 1797 年，英國人亨利·莫茲利發明近代所認知的車床，這時正式進入機械加工法，開啟第三代金屬成型時代（機械加工法主要優點在於可使加工物件的精度大幅提升）。時隔八十三年，1880 年代正式進化到沖壓法，也就是第四代金屬成型法（沖壓法優點在於可使材料快速達到所需形狀，同時可使欲成型的板材快速運送到指定的地點，利用鈹金彎折的製程得到最經濟的產品，大幅降低製造產品成本）。

1923 年，粉末冶金法的硬質合金顯現，使機械加工時代出現革命性飛躍，一直到 1930 年成功製造出了多孔含油軸承並量產，此時進化到第五代金屬成型法。這時的金屬成型製程正式從材料刪去法時代進入到材料增加法，也就是廣義的積層製造 (Additive Manufacturing)，廣義的積層製造必須使用模具形成模穴。

### 積層製造——3D 列印

人類對於金屬加工法大致上為圖 1 所示，但隨著時代的發展，越來越多的產品走向少量多樣的需求，此時一般的金屬成型工藝已無法滿足需求，因此人類開始將目光集中在積層製造——3D 列印。表 1 為各種材料對於 3D 列印法的應用。

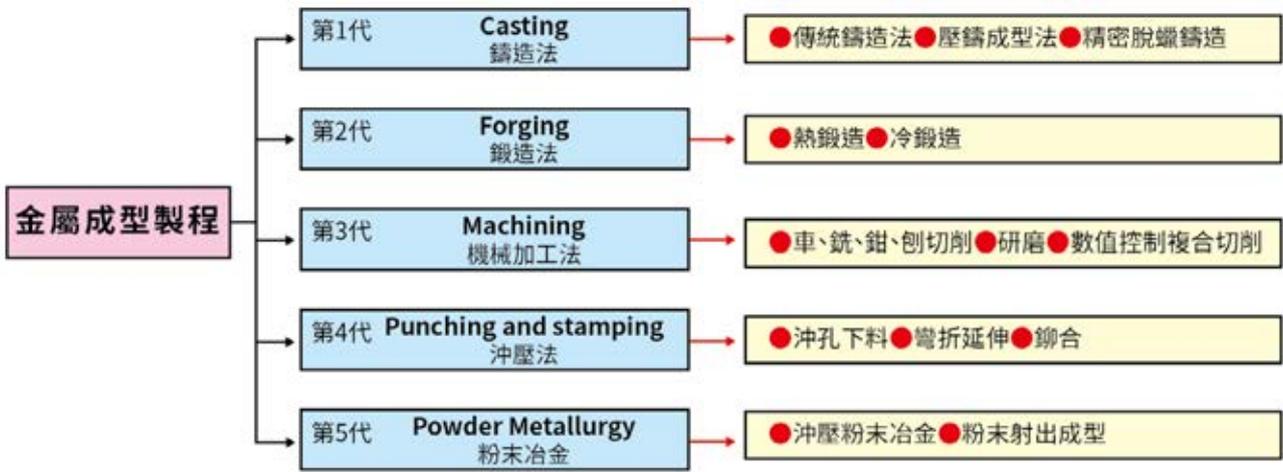


圖 1：金屬成型製程的演進

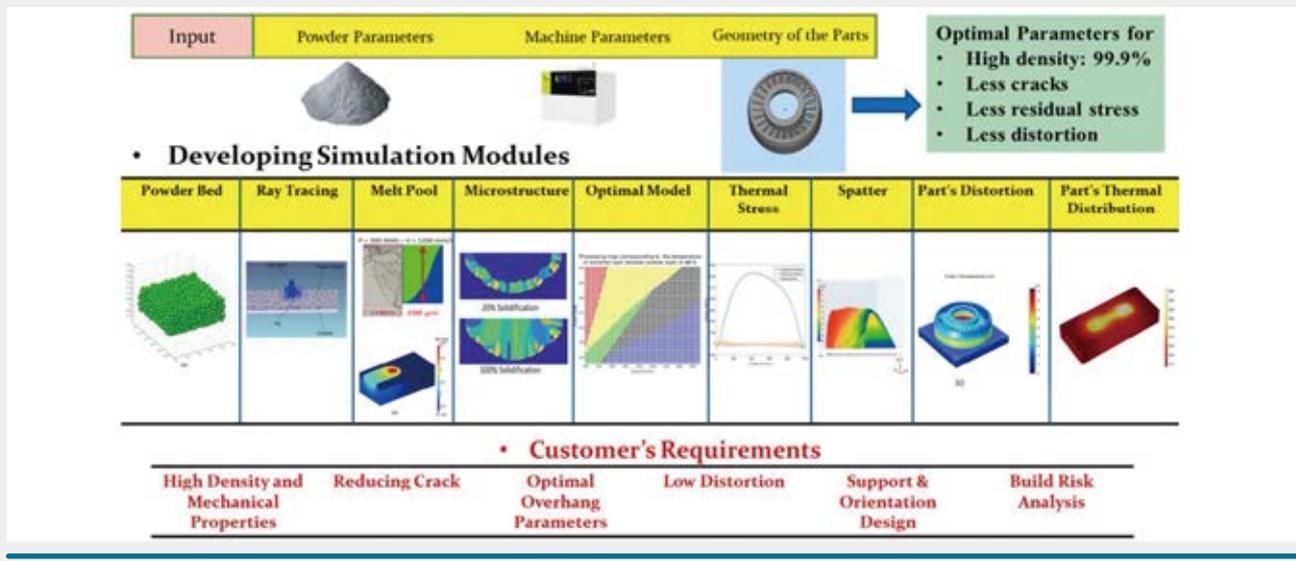
編號	中文名稱/(English Name, Abbreviation)	塑膠	光固化樹脂	金屬	陶瓷	複合材料
1.	材料擠出法(Material Extrusion, MEX)	●		○	○	○
2.	還原光聚合 (Vat Photo Polymerisation, VPP)		●	○	○	○
3.	粉體床熔合法 (Powder Bed Fusion, PBF)	●		○	○	○
4.	材料噴射法(Material Jetting Technology, MJT)	●		●		
5.	黏結劑噴射法 (Binder Jetting Technology, BJT)	●		○	○	○
6.	定向能量沉積法 (Direct Energy Deposition, DED)	●		●		
7.	層疊貼合法(Sheet Lamination Technology, SLT)	●		○	○	○

● 列印的基層材料可以一次性固化成型 ○ 列印的材料必須利用後製程才可固化成型  
 藍字體：精度高的金屬AM法

表 1：各種材料對於 3D 列印法的應用 (資料來源：Dr.Q ACMT 講義)

Mckinsey & Company 世界級領先的全球管理諮詢公司在 2018 年表示未來頂尖技術排名第一的是積層製造，排名第二的是金屬粉末射出成型。目前的金屬積層製造——3D 列印主流是以粉體床熔合法 (Powder Bed Fusion) 與黏結劑噴射法 (Binder Jetting Technology) 為主，以上方法仍然以粉末態為主與金屬粉末射出成型 (Metal Injection Molding) 相同。在產品結構複雜且需要機械強度的領域裡，金屬材料以粉末態為主。粉末態是除了固態、液態、氣態以外的第四態，當粉末粒徑接近奈米級時，會同時擁有固液氣三態的特性，加上粉末擁有巨大的比表面積，對於燒結有降低熔點的幫助，因此在金屬積層製造——3D 列印與金屬粉末射出成型兩大領域內，粉末態有著無法替代的優勢。

目前金屬 3D 列印的各種方法其原料都使用粉末，各種的粉末處理技術就顯得相當重要，例如如何篩分粉末的粒徑大小以及粉末表面狀況的控制，甚至必須將粉末與黏結劑做預先混合以達到列印成型的最終目的，接下來由各個專家來為各位詳細說明不同的金屬 3D 列印與應用。■



## 開發模擬軟體分析 3D 金屬列印加工之參數優化

■成功大學 / 羅裕龍 特聘教授

### 前言

據工具機與零組件報告 [1] 指出，在全球積層製造市場產值達到美金 97.95 億元，且產值成長趨勢的表現十分不錯；而在積層製造產品的應用比例中，功能性產品及終端產品應用比例達 56.3%，可看出積層製造在產業中已能實際且直接地應用。

在金屬積層製造中的粉床熔融成型 (Laser Powder Bed Fusion) 方法，能有較佳的精度及粗糙度，更能實現積層製造客製化、加工複雜外型的優勢；然而在選擇加工參數時，會因為參數彼此之間相互影響，使加工參數難以尋找，進而造成積層製造產品內部形成過度熔融或是熔融未完全的缺陷，使積層製造工件密度大幅下降。

為找到合適的加工參數，傳統上常以試誤法進行加工參數挑選，然而以試誤法往往需進行大量實驗，其造成的費用與時間是相當可觀的，且對於新材料的製程

參數開發，會因材料的吸收率及物理性質不同而使得加工參數變化不少。有鑑於此，我們團隊已開發一套利用光學與有限元素軟體找出不同材料的優化加工參數（如文章首圖所示），以達到物件高緻密度、低殘留應力、低裂縫之要求。

### 光學及有限元素軟體模擬雷射粉床熔融成型

在雷射粉床熔融成型技術中，材料通常為合金金屬粉末，會因粉末製程的不同而造成粉末粒徑分布與材料組成的差異性，使得粉末吸收雷射能量有不同影響；因此本團隊利用數值運算軟體 Matlab 及光學軟體 Zemax 耦合，分別模擬在不同粉末顆粒分布情況及合金內部不同元素的光學性質，以計算雷射在特定粉末層厚的能量吸收率，並同時計算不同粒徑分布下的粉末堆疊密度、等效密度及等效熱性質。

這些等效物理量能夠在有限元素軟體中建立等效粉末床，並進行雷射粉床熔融模擬，以分析熔池的大小與

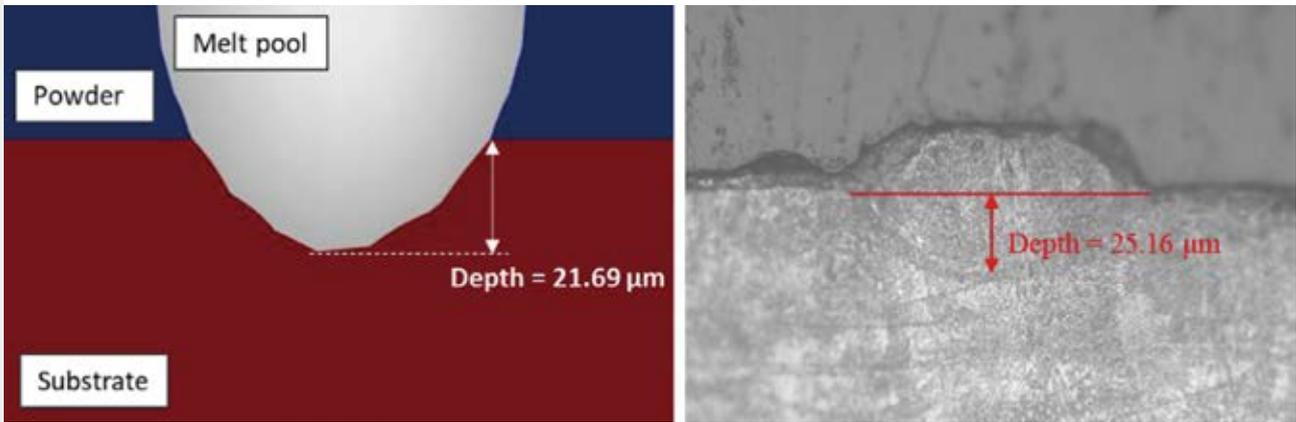


圖 1：左為雷射粉床熔融熔池深度模擬結果，右為雷射粉床熔融熔池深度實驗結果

幾何形狀。其熔池結果會根據積層製造加工穩定性的標準進行篩選，進而優化粉末材料、粒徑分布、粉層厚度、雷射能量、掃描速度等製程參數，以用來穩定加工過程，實現積層製造工件高緻密度、低殘留應力、低裂縫的目標。

### 模擬軟體帶來的成果

應用本團隊所開發的軟體，已成功將不鏽鋼、鎳基合金的工件緻密度提升至 99.95%，也成功降低殘留應力，並在 Inconel 713LC 降低微裂縫有重要突破。與台灣公司合作測試新材料的金屬積層製造加工參數，將原本預計需要開發 2.5 個月的新材料參數，縮短至 2 周就開發完成。

除進行高緻密度、低殘留應力、低裂縫的加工參數優化，本團隊亦應用這套分析軟體在懸浮結構 (overhanging structure) 上進一步優化加工參數；進而成功預測不同參數對於特殊工件變形的影響。另本團隊亦建構 cellular automaton 模型耦合，進而預測熔池的微觀結構分析。

本團隊除研究雷射加工參數對於積層製造工件的影響外，還應用計算流體力學 (CFD) 進行雷射粉床熔融時

粉末濺渣與流場的模擬分析，而目前模擬結果顯示與實驗的誤差約為 6%，此說明本分析模型準確性很高；對粉末濺渣所造成工件品質劣化可提供重要腔體氣氛參數控制的優化依據。

### 未來的走向

在未來，本團隊將更進一步考慮更多物理量進行積層製造參數優化分析；在微小尺度的領域中更精準選擇適合的加工製程參數，以達積層工件微結構之要求。目前，本團隊正進行軟體商業化開發，亦計畫成立技術諮詢團隊以提供 Consultant Services 及 3D 金屬列印技術課程推廣。■

### 參考文獻

- [1]. 涂冠旭、鄧凱元、林得耀、林敬智、莊傳勝 (民 109)。決勝先進製造時代 - 台灣金屬積層製造產業應用。工具機及零組件雜誌，120(5)，70-76。



## 雷射選區重熔 3D 列印技術研究開發新型金屬材料之契機

■清華大學 / 葉安洲 教授

### 前言

雷射選區重熔 (Selective Laser Melting, SLM) 是當今最受矚目的 3D 列印金屬製品技術之一，雷射會依據電腦 3D 繪圖切層的平面圖樣掃描金屬粉床，一層接著一層的熔合完成最終的金屬製品，因此 SLM 完全不需要使用模具，即可對應一般難以加工的金屬材料，成功製作幾何形狀複雜的物件。

SLM 所展現的優勢並不能取代傳統鑄造或是鍛造製程，針對既有設計的零組件，傳統製程在成本及速度目前還是比 SLM 更有競爭力；SLM 的優勢是客製化且能讓新產品設計不再受限傳統製程，進而達到產品輕量化以及節省材料的効果。譬如奇異引擎公司已經展示可利用金屬 3D 列印技術製作 12 組新設計的發動機零組件，完全取代過去 855 個部位零組件，由於新設計省略掉許多套件及螺絲螺帽，可讓發動機減重 5%，整體效益達到單位油耗 (Specific Fuel Consumption, SFC) 提升 1% [1]。

反看發動機的發展史，過去單位油耗的提升主要是仰賴單晶渦輪葉片材料的耐熱度提升，此歷程大概是每 15 年提高 50°C，才能提升約 1% 的 SFC；相較之下，透過 3D 列印落實新設計即可達到減重以提升等同比例之 SFC，由此可見金屬 3D 列印技術所帶來的效益是非常顯著。然而，3D 列印金屬材料的優勢不侷限於客製化及實現新產品設計，筆者在此分享雷射選區重熔 3D 列印技術研究開發新型金屬材料之契機，內容包含三個案例，(1) 透過 SLM 製程氣氛導入氧化物分散強化機制 (oxide dispersion strengthening, ODS)，大幅度提高傳統金屬材料的機械性質，(2) 添加異質核劑於金屬粉末，改善 SLM 材料晶粒組織性，利用晶界工程提升高溫潛變阻抗性質，(3) 利用 SLM 製程快速冷卻的特性，開發新合金超越傳統超合金材料。許多關鍵工業產品都必須顧及「型」與「質」，「型」就是產品設計，「質」是材料；而讓新產品之「型」與「質」都能有所提升，才能將 SLM 金屬 3D 列印技術的優勢發揮到極致。

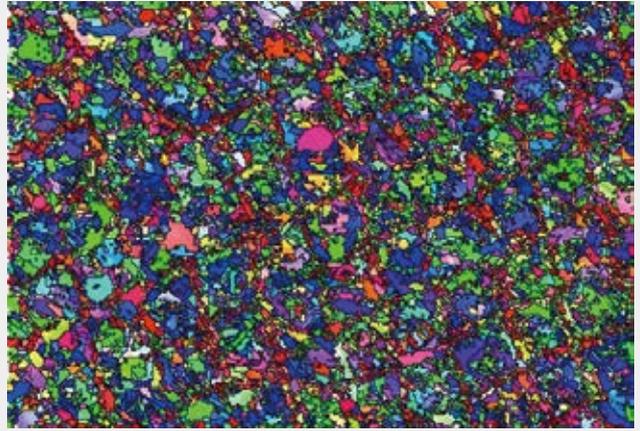
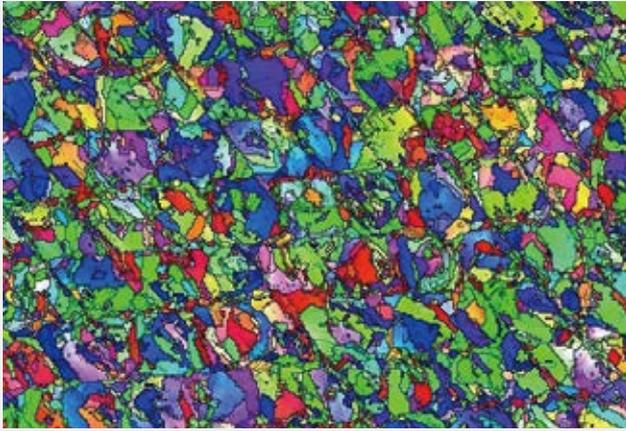


圖 1：添加 NbC 對於 IN718 材料組織的影響，左圖為沒添加；右圖為添加 5 wt% NbC

### 將傳統金屬材料轉變成 ODS 強化金屬材料

不銹鋼 17-4PH 是一種傳統金屬材料，常用於製作發動機內部的座體及支架零組件，其傳統製程包含鑄造及機加工程序，而 17-4PH 不銹鋼主要的材料強化機制來自於麻田散鐵相以及富銅析出物。

根據筆者先前的研究發現 [2]，當 SLM 工作空間的氣氛維持在高純度氬氣及 500 ppm 氧含量的情況下，由於 17-4PH 的粉末成份含有錳 (Mn) 和矽 (Si)，積層製造 17-4PH 可以在 3D 列印的過程產生奈米尺度 Mn-Si 氧化物分散在材料微結構，造成非常明顯的強化效果，材料的室溫抗拉強度可以高達 1478 MPa，相較於傳統鑄鍛製作 17-4PH 的抗拉強度大約為 1188 MPa。傳統粉末冶金製作 ODS 材料前，會預先將氧化物顆粒與金屬粉末混和再加壓燒結，此案例顯示 SLM 製程可提供新的方式製作 ODS 材料，利用氣氛的控制來客製材料的性質。

### 透過異質成核劑的添加細化晶粒尺寸及改善材料晶粒織構性

雷射選區重熔 3D 列印是疊層加法製程，金屬粉層熔融凝固會偏底部方向將熱能給帶走，造成凝固溫度梯度，因此一般材料組織會呈現垂直方向晶粒的織構

性，導致整體材料之機械性質展現異向性，不利於一般工程結構應用所需。

為了解決此問題，筆者嘗試在 IN718 超合金粉末添加異質成核劑，包含碳化鎢 (WC)[3]、碳化鈦 (TiC)[4]、碳化鈮 (NbC)[4]、鈷鋁氧化物 ( $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ )[5]，結果發現在 SLM 積層製造的過程，這些添加物因為熔點高於基底材質 IN718，扮演凝固異質成核的角色，讓金屬凝固過程的晶粒較為細化（圖 1），且晶粒方向分布不具有顯著的織構性，大幅度改善機械性質異向性的問題，提高結構應用的可行性。除此之外，異質成核劑的添加也可促成奈米級碳化物及氧化物的生成，讓晶界呈現鋸齒狀，譬如添加 0.2 wt%  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  讓 IN718 的潛變應變率在  $650^\circ\text{C}/650\text{ MPa}$  的條件下降低一半，潛變壽命提升 30%。

### 新材料開發

雷射選區重熔 3D 列印金屬材料的過程，由於凝固冷卻速率快 ( $> 10^5\text{ K.s}^{-1}$ )，材料特徵包含大量的材料內應力及成分均勻，既使有發生組成過冷成份偏析現象，所生成之樹枝結構一般是次微米級的尺度。筆者利用此材料特徵，經過 SLM 製程及後熱處理，大幅度提升高熵合金 ( $\text{Al}_{0.2}\text{Co}_{1.5}\text{CrFeNi}_{1.5}\text{Ti}_{0.3}$ ) 的機械性質 [6]，強

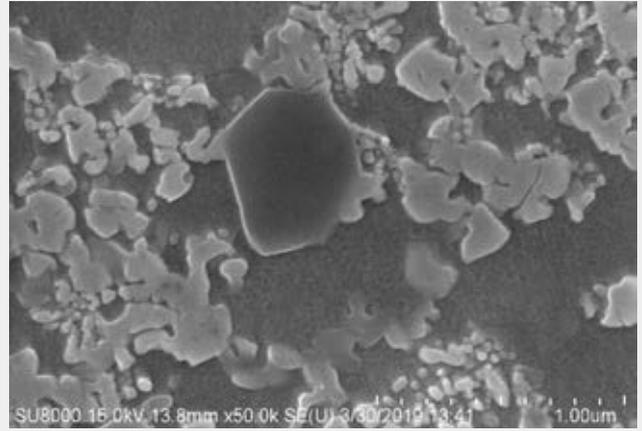
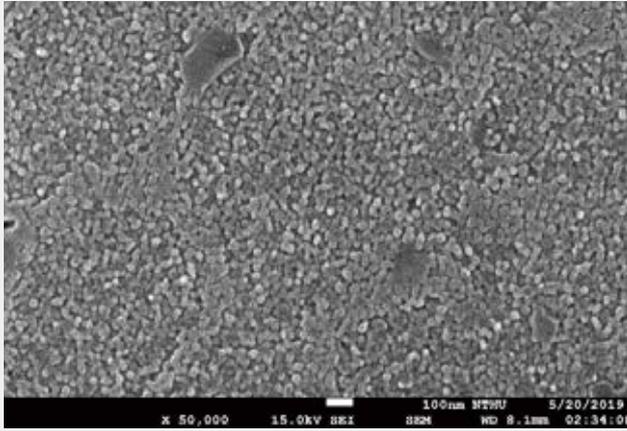


圖 2：高熵合金 ( $\text{Al}_{0.2}\text{Co}_{1.5}\text{CrFeNi}_{1.5}\text{Ti}_{0.3}$ ) 的微結構，左圖為 SLM 製程；右圖為傳統鑄鍛

度可以超越超合金材料 IN718；均勻分布的內應力及次微米級的樹枝結構，在熱處理後能夠誘發均勻分布的層次強化結構（圖 2 左邊圖例）；反看傳統鑄鍛製程必須經過均質熱處理再進行時效析出，無法造就層次強化結構，若是未均質的狀態進行冷加工再進行時效熱處理，反而會讓材料組織不均勻而讓機械性質變差（圖 2 右邊圖例）。利用 SLM 材料特徵發展新材料已經是當今的研發趨勢，所以 SLM 不再只是製作材料的工具，而是開發新材料的平臺。

### 總結

3D 列印金屬材料的優勢不侷限於客製化及實現新產品設計，筆者在此舉例 3D 列印技術 (SLM) 開發新型金屬材料之契機，包含 ODS 材料、添加異質成核劑於金屬粉末、開發新材料如高熵合金。畢竟新產品之「型」與「質」都能有所提升，才能最大化金屬 3D 列印技術的優勢。■

### 參考文獻

- [1].<https://www.geaviation.com/press-release/business-general-aviation/ge-tests-additive-manufactured-demonstrator-engine-0>
- [2].Tzu-Hou Hsu, Yao-Jen Chang, Cheng-Yao Huang, Hung-Wei Yen, Chih-Peng Chen, Kuo-Kuang Jen, An-Chou Yeh,

“Microstructure and property of a selective laser melting process induced oxide dispersion strengthened 17-4PH stainless steel”, *Journal of Alloys and Compounds* 803 (2019/09), 30-41.

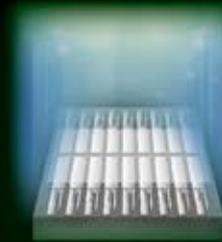
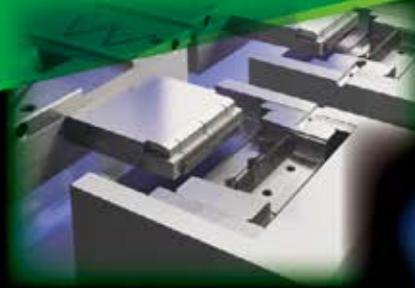
- [3].I-Ting Ho, Yung-Ta Chen, An-Chou Yeh, Chih-Peng Chen, Kuo-Kuang Jen “Microstructure evolution induced by inoculants during the selective laser melting of IN718”, *Additive Manufacturing* 21 (2018/05), 465-471.
- [4].Tzu-Hou Hsu, Kai-Chun Chang, Yao-Jen Chang, I-Ting Ho, Sammy Tin, Chen-Wei Li, Koji Kakehi, Chih-Peng Chen, Kuo-Kuang Jen, Ho-Yen Hsieh, An-Chou Yeh, “Effect of Carbide Inoculants Additions in IN718 Fabricated by Selective Laser Melting Process”, *Superalloys 2020* (2020) 982-989.
- [5].I-Ting Ho, Tzu-Hou Hsu, Yao-Jen Chang, Chen-Wei Li, Kai-Chun Chang, Sammy Tin, Koji Kakehi, An-Chou Yeh, “Effects of  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  inoculants on microstructure and mechanical properties of IN718 processed by selective laser melting”, *Additive Manufacturing* 35 (2020/10), (101328).
- [6].Wei-Chih Lin, Yao-Jen Chang, Tzu-Hou Hsu, Stéphane Gorsse, Fei Sun, Tadashi Furuhashi, An-Chou Yeh, “Microstructure and tensile property of a precipitation strengthened high entropy alloy processed by selective laser melting and post heat treatment”, *Additive Manufacturing* 36 (2020/12), (101601).



Sodick

# 电子束 PIKA 面加工装置 EBM

PF300S



## 高速造形 金属 3D 打印机 LPM325



## eV-LINE OPM 模具专用单元制造系统 MR30

廣告編號 2020-11-A08





## Near Net Shape 接近淨型：金屬粉末積層製造

■高速 3D 列印研究中心 / 劉書丞

### 前言

接近淨型 (Near Net Shape, NNS) 是一種工業製造技術，意味著產品由材料進行加工後的初始樣貌已接近產品最終型態的製程。NNS 技術旨在最大程度的減少加工步驟（如機械切削、熱處理），從而降低原材料、能源與整體製程工時的消耗。NNS 製造技術多種多樣，概念囊括鑄造、粉末冶金、射出成型等，以及積層製造系統，各自具特定的應用性質。而積層製造在其中更是具有可節省模具、製造複雜結構與高度客製化等特性。

在 ASTM 美國材料與試驗協會於 2009 年定義的積層製造 7 大技術中，可將金屬材料加熱至熔融狀態並迅速凝固成型的技術，除了粉床式燒熔 (Powder Bed Fusion, PBF) 的方式外，另一個方式為指向性能量沉積 (Directed Energy Deposition, DED) 技術，利用聚焦的熱能量源，包括雷射、電子束或是電漿等與材料間的相互作用促使材料熔融沉積。DED 與 PBF 的差

異在於其加工或 3D 列印不受粉床大小的限制、使用粉末或線材作為沉積原料，並且可以結合切削工具機達到加減法的複合加工。而在前述的三種熱能量源中又以雷射最為普及。

早在 ASTM 定義 DED 技術之前，雷射金屬沉積 (Laser Metal Deposition, LMD) 便在 1990 年代由美國 Sandia 國家實驗室首次提出，並在國際間相繼發展，由於彼此間獨立研究，因此 LMD 衍伸的技術名稱繁多。例如美國 Sandia 國家實驗室的 LENS (Laser Engineered Net Shaping)、美國 Michigan 大學的 DMD (Direct Metal Deposition)、英國伯明罕大學的 DLF (Directed Laser Fabrication) 等。雖然名稱各異，但它們的原理大致相同，是基於雷射熔覆的技術。

### 雷射金屬沉積

#### 雷射熔覆介紹

雷射熔覆 (Laser Cladding, LC) 原屬於一種表面塗層技

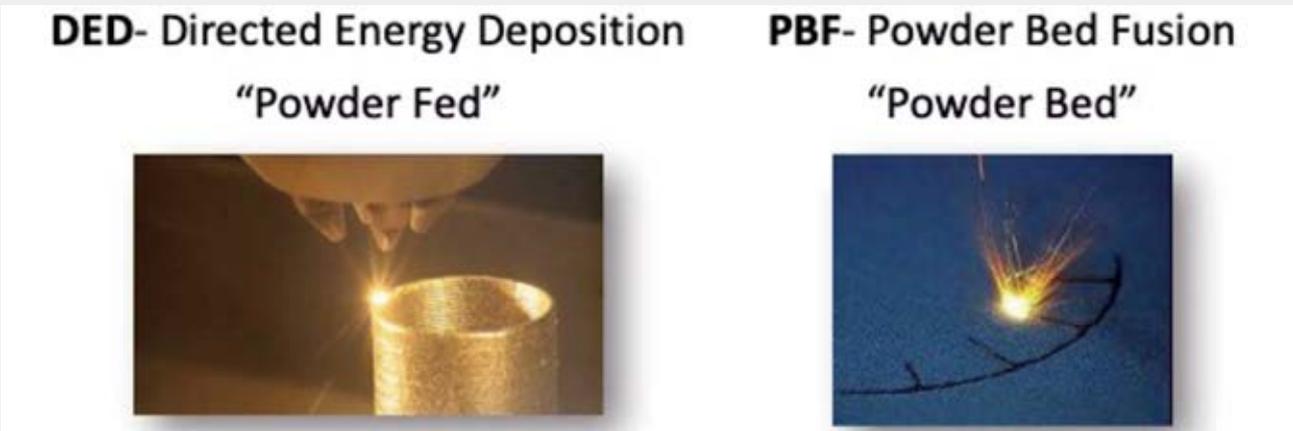


圖 1：左為指向性能量沉積，右為粉末床熔融 [2]

術，在加工表面以雷射形成淺層融化區，同時透過噴嘴送料的方式將耐磨耗、耐腐蝕等披覆材料與工件融化層混合，隨著熱源移動，先前的照射區冷卻固化與基材形成良好的冶金式鍵結。

披覆的材料其形式可為線材或粉末，由於粉末對光束能量的吸收效率較高，一般採用粉末型式。而披覆又分為「預鋪粉法」與「同步鋪粉法」兩種方式，差別在於前者預先將粉末覆蓋於工件表面，由粉末材料先吸收雷射光照射融化再將熱量傳導至基材並附著；而同步鋪粉法則是通過惰性氣體搭配同軸或側向送粉系統，使基材與粉末同時接受雷射光照射，令粉末附著於基材表面熔池。與傳統的熱噴塗以及電弧焊相比，雷射熔覆有「極低的熱影響區」、「小於 5% 的稀釋度，使材料不會與基材過度熔合」、「更高的鍵結強度」、「快速冷卻達到的細化金相組織」等四項優點

### LENS 雷射工程淨成型

在前述中，雷射熔覆通常是應用於基材上的局部特性增強或是修補，但若以三維度路徑並進行多道疊層熔覆，形成特定的層厚完成三維物件的製作，即為積層製造中的指向性能量沉積技術 (DED)。

1990 年代，桑迪亞美國國家實驗室 (Sandia National Laboratory, SNL)，雷射工程淨成型技術 (LENS) 做為當時的一種新技術被開發出來，可直接從 CAD 實體模型製造出三維金屬部件。電腦首先將 CAD 模型依照一定的厚度切片分層，將每一層的的二維平面數據轉化為列印設備的運動軌跡，再由雷射披覆以同步送粉的方式使之由點到線、由線至面的方式逐步完成一個截面的熔化凝固，透過層層疊加，最終製造出近淨型 (NNS) 的部件實體。實驗室將技術轉移給美國私人公司 Optomec，並在 1997 年成功推出商業化 LENS 的 DED 指向性能量沉積積層製造設備。

### LENS 金屬積層製造的應用

Optomec 公司在金屬積層製造領域發展至今已有 20 年以上時間，為世界所公認，現今的 LENS 工藝於密閉的室中使用氬氣吹掃，以使氧氣和水分含量低於十萬分之一，保持零件清潔防止氧化。金屬粉末原料通過 Optomec 專有的粉末進料系統輸送到材料噴嘴，此系統能夠精確調節質量、流量，通過建立連續的層，可以構建整個部件。當列印完成，將部件移出後可以任何常規方式進行熱處理、熱等靜壓、機加工或精加工，對於整體製程已具有高度的控制能力。



圖 2：左為 LENS 系統搭配四軸加工機，右為加工成品 [3]

### 核心應用：複合製造與維修

積層製造不僅用於生產新的金屬零件，還可用於維修和更換現有零件。由於腐蝕或磨損，美國每年花費數十億美元在維修或更換金屬零件。這些成本可以通過更廣泛地應用金屬增材製造以及縮短交貨時間來降低，尤其是 DED 製程更是可以大幅節省工業維修應用的時間和成本。

相較於 PBF 技術，列印不受粉床空間大小，以及列印部件不須被掩埋在粉末之中，複合製造與零件維修成為 DED 製程中無可取代的最大優勢，將金屬的積層製造 (AM) 技術結合常規的減法加工技術（例如 CNC 銑床、車床、機械手臂等），系統可從三軸到五軸乃至多個多軸向同時運行，使不同製造過程可在同一機臺甚至在同一個部件上協同運作，並控制列印件的形貌精確度。

複合製造的機器簡化金屬製造的應用，並大幅加快複雜金屬零件的生產，結合五軸加工機更是可在不需建立支撐結構的情況下，達到製造複雜懸空曲面之效。

除完全的複合製造用途，若能最大程度的維護延長高價值金屬零件的壽命，對於產業間降低營運成本同樣

至關重要，DED 製程正可以達到將材料添加至磨損或損壞區域的維修，它形成了如同焊接的冶金式鍵結卻具有極小的熱影響區，又因其快速冷卻產生的晶粒細化，形成特性類似鍛造的性能。

### 新興應用

- **材料的開發**：即使現今的模擬技術已達極高的水平仍少不了分析和建構材料樣本，傳統製造過程既昂貴又費時，開發新材料可能需數十年時間並且只能同時評估單一種材料的物理與化學性質，而 DED 可透過複數進料系統由多個噴嘴控制，混合不同成分比例的材料。
- **渦輪葉盤修復**：與多組件設計相比，整體式渦輪葉盤具有更高的性能優勢，然而它們的造價動輒數萬至數十萬美元，更換損壞的渦輪更會大幅增加營運成本。請在修復時必須確保所有葉片得到修復否則結果依然必須整組報廢。而 DED 經過多年發展與測試，已成為葉片修復的首選方案。
- **醫療植入物**：醫療器械製造是受管制的行業，在此行業中，特種金屬用於生產高性能部件。憑藉其成本和時間優勢，DED 技術的應用是理想的解決方案，包括專用外科手術器械和整形外科植入物（例如臀部，膝蓋和脊柱器械）的開發，以及表面塗層。

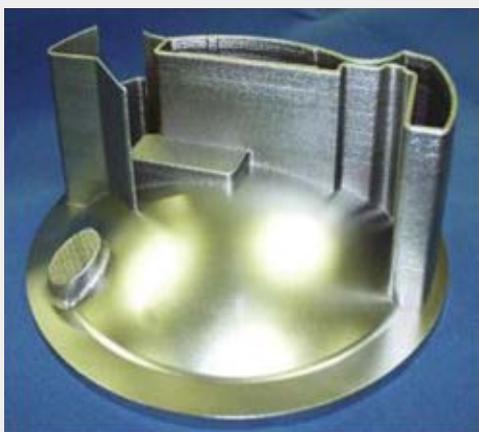


圖 3：減法製造的底座與積層製造的薄壁結構 [3]

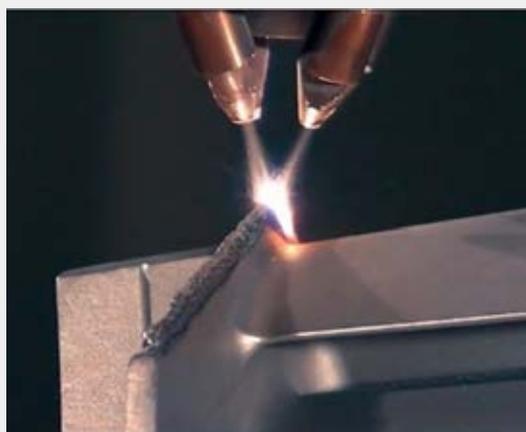


圖 4：LENS 維修破損零件 [4]

### Optomec LENS 系統設備

圖 8 為 LENS 入門級設備，150mm<sup>3</sup> 工作範圍與三軸數控系統，適用於小零件的原型、維修與少量的粉末開發測試。

圖 9 為大型 LENS 設備 900 x 1500 x 900mm 的工作空間，搭配五軸控制系統 XYZ 龍門 (3)+ 傾斜旋轉 (2) 工作臺，可在無支撐結構下建立複雜曲面，應用於航空及國防工業的高單價大型金屬零件複合維修或製造，以及先進產品開發。

### 結語

接近淨型的金屬製造技術中，積層製造可以在無模具的情形下藉由數位模型的切層轉換達到複雜形貌物件的高度客製化製造，而相較其他製程，DED 技術更是與現今成熟的 CNC 加工技術結合。加減法複合加工技術可以用於金屬零件的製造、修復現有零件缺陷以及表面改質，足夠高的指向性能量可以適用於各式金屬、合金材料，透過多噴嘴送粉系統的流量控制更提供功能性梯度材料開發的可行性。除一般工業外，如今 DED 技術也已被大量用於國防工業、航空產業與醫療產業。■

### 參考資料

- [1]. 標題圖引自 <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-technology/>
- [2]. <https://optomec.com/how-3d-metal-printing-saves-time-and-lowers-costs-ded-for-repair-of-industrial-components/>
- [3]. <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-core-applications/hybrid-manufacturing/>
- [4]. <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-core-applications/component-repair/>
- [5]. <https://optomec.com/wp-content/uploads/2019/12/LENS-Materials-FAQ.pdf>
- [6]. <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-emerging-applications/materials-discovery/>
- [7]. [https://optomec.com/wp-content/uploads/2014/04/Optomec\\_LENS\\_Blisk\\_Repair\\_Datasheet.pdf](https://optomec.com/wp-content/uploads/2014/04/Optomec_LENS_Blisk_Repair_Datasheet.pdf)
- [8]. <https://optomec.com/3d-printed-metals/lens-printers/low-cost-metal-3d-printer/>

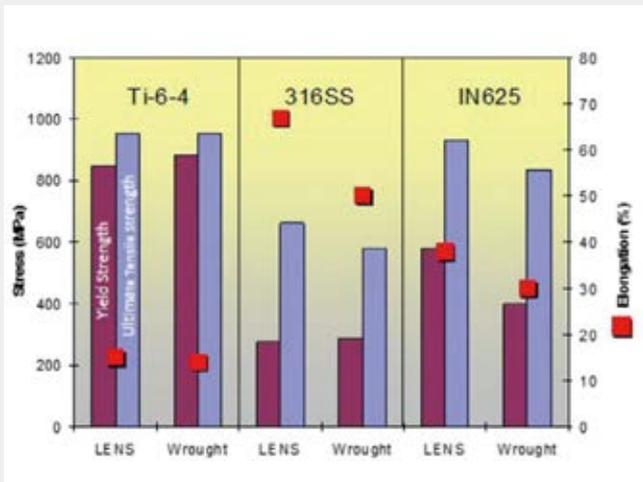


圖 5：DED 製造在某些情況下可達到與鍛造相近的性質 [5]



圖 6：利用多噴嘴列印梯度材料 [6]

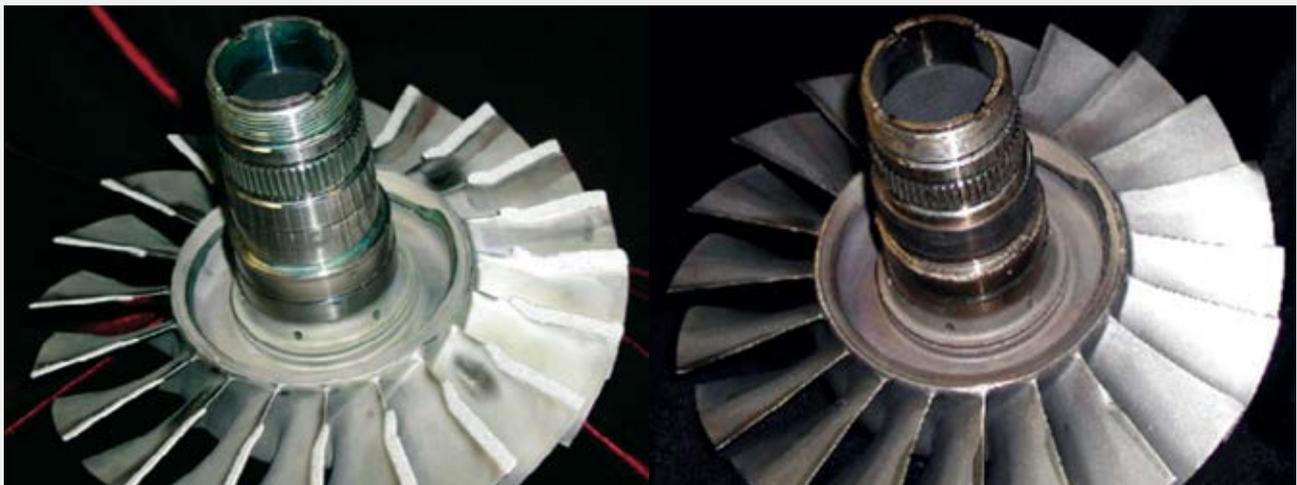


圖 7：渦輪葉盤修復，左為修復前，右為修復後 [7]



圖 8：LENS CS 150[8]



圖 9：LENS CS 1500[8]



# 台灣3D列印暨 積層製造設備展

Taiwan 3D Printing and  
Additive Manufacturing Show

25 Aug. (Wed.) ▶ 28 Aug. (Sat.), 2021

台北南港展覽館 Taipei Nangang Exhibition Center

**一鍵列印未來的模樣**  
Print Your Imagination

## 展出項目 / Exhibit Profile



**積層製造設備暨零組件**  
Additive Manufacturing Equipment



**技術製造**  
Additive Manufacturing Technology



**應用軟體與相關系統**  
3D Software & System



**設計及其他代工服務**  
Design & Other Related Service



**積層製造耗材**  
3D Printing Components & Supplies

## 展出費用 / Exhibit Fee

攤位形式 Type of Booth (9m <sup>2</sup> )	定價(含稅) Price (Tax included)	早鳥價(含稅) Early Bird Discount (Tax included)
淨空地 Raw Space	NT\$49,350	NT\$46,200
標準攤位 Standard Booth	NT\$54,075	NT\$50,925

※2020.10.31前報名享早鳥價 / Early bird discount is available for registrations received on or prior to 31-Oct., 2020.

## 報名專線 / Contact us

展昭國際企業股份有限公司 Chan Chao International Co., Ltd.

TEL: 02-26596000 Fax: 02-26597000

林鈺婷小姐 Ms. Ivy Lin #192 / 楊于德先生 Mr. Harry Yang #107  
show@chancho.com.tw

主辦單位 Organizer :

三維列印協會 台灣區模具工業同業公會 展昭國際企業股份有限公司



官方網站

廣告編號 2020-11-A09

# 無鈷麻時效鋼金屬3D列印粉末

## SANYO SPECIAL STEEL - the Confident Choice



## 兼具強度及韌性之無鈷麻時效鋼粉末

■溢井有限公司

### 前言

含有鈷 (Cobalt, 之後簡稱 Co) 的麻時效鋼 (Maraing Steel/ 18Ni 300) 材料, 目前已被廣泛地運用在產業用模具、機械、汽車、航空、航太等領域, 經過熱處理後, 因兼具高強度和高韌性的特性, 在 3D 金屬列印中, 也被廣泛使用於模具及零件等用途上。

由於 3D 金屬列印所使用的粉末粒徑為 10~100um 範圍的細微粉末, 在處理含有特定化學物質鈷 (Co) 成份的麻時效鋼粉末時, 必須要在作業環境中設置健康防護措施。含有鈷 (Co) 之麻時效鋼, 在金屬 3D 列印時硬度約為 HRC38, 列印後不容易產生裂痕等缺陷, 而熱處理後硬度約為 HRC53, 變形性小, 因具備高硬度及高強度之鋼種關係。

在金屬 3D 列印中, 麻時效鋼也以異型水路的射出模具為主, 拓展到其他需要高強度、高韌性的零件等, 非常適用於金屬 3D 列印。

### 鈷 (Co) 對人體的影響性及企業責任

國際癌症研究中心 (IARC) 已將鈷以及含有鈷的化合物認定為是可能使人體致癌的物質。倘若與人體皮膚接觸時, 除可能會造成過敏性接觸皮膚炎外, 經呼吸道吸入時, 也可能導致如肺炎、氣喘、間質性肺病、肺功能異常, 甚至是肺癌 [1]。因此, 日本厚生勞動省已認定鈷以及含有鈷的化合物為特殊化學物質 [2], 並明文規定含有 (鈷重量超過 1% 以上) 之作業環境中, 其容許的濃度為 0.02mg/m<sup>3</sup>。而台灣勞動部所公佈的勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準裡 [3], 也已明文規定鈷、金屬燻煙及粉塵 (以鈷計) 的容許濃度為 0.05mg/m<sup>3</sup>。

因此在使用含有 8.5-9.5% 的特定化學物質鈷 (Co) 的麻時效鋼 3D 金屬列印及加工工程中, 勢必需要在作業環境中設置如除塵設備、通風排氣設備、使用呼吸過濾面罩等的健康防護措施, 並且標示有害物質的防護說明。

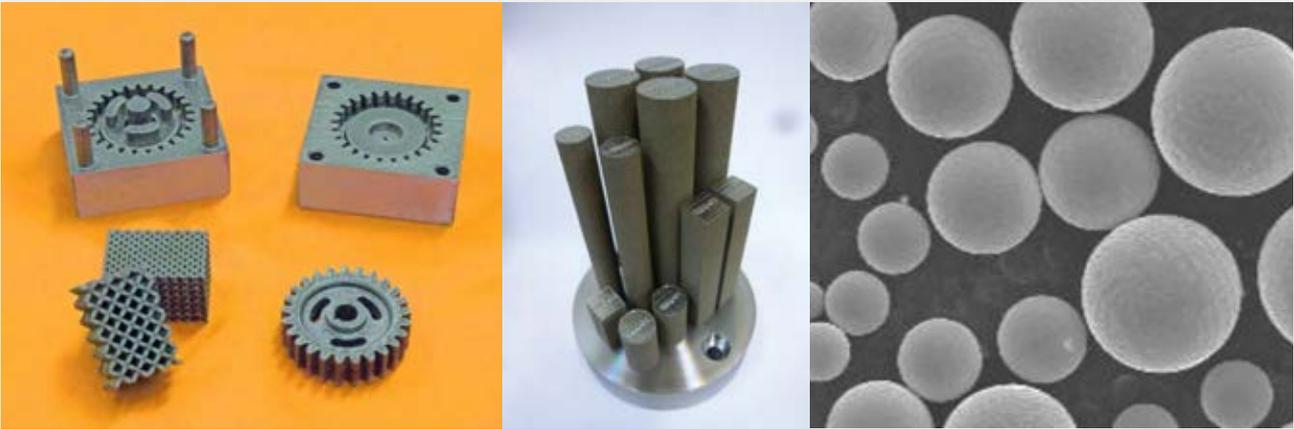


圖 1：無鈷 (Cobalt-Free) 的 3D 列印成品及粉末照片

此外，鈷 (Co) 元素的礦產資源多集中在爭議礦產，除了在開採上已成為國際問題外，供給的風險也非常地高。目前全球也有非常多的企業和公司關注爭議礦產的問題，並聲明其製造的原料中，不使用爭議礦區所開採鈷 (Co)、錫 (Sn)、鈀 (Pd)、鉭 (Ta)、鎢 (W)、金 (Au) 等金屬礦產，來善盡企業的社會責任和提升自己的企業形象。

### 無鈷 (Cobalt-Free) 麻時效鋼的開發背景

山陽特殊製鋼針對以上的問題，著手進行開發不使用鈷 (Co) 成份，但卻能擁有麻時效鋼高強度、高韌性……等特性的 3D 金屬列印用粉末。其獨家開發出的金屬 3D 列印用麻時效鋼粉末不添加鈷成份 (Cobalt-Free)，且韌性和強度能與既有的麻時效鋼相匹敵。同時，因不需特殊的作業環境防護措施，使用麻時效鋼粉末列印高強度、高韌性模具或零件也變得相當容易。

### 開發挑戰

含有鈷 (Co) 之麻時效鋼，透過固溶化和時效處理此 2 種熱處理，在金屬組織內，使金屬間的化合物析出而讓其強度提升。麻時效鋼若含有鈷 (Co) 成份，能促進金屬組織內的金屬化合物析出，因為鈷成份在時效處

理時，能有效抑制金屬組織中脆性相的生成，倘若麻時效的鈷 (Co) 含量減少，甚至不使用鈷 (Co)，其列印後的強度也會因此降低，也導致金屬 3D 列印成型工件在熱處理後，有韌性下降的問題。

### 獨有的合金設計

最初無鈷 (Cobalt-Free) 的麻時效鋼，其強度及韌性一直無法達到與原本麻時效鋼相同的表現，兩者落差很大。然而日本山陽一直專注於合金成分上之研發，從成份上進行調整，也同時開發出在時效處理時，能抑制脆性相生成的熱處理條件，最終成功開發出和含有鈷 (Co) 的麻時效鋼同等，擁有高強度、高硬度的 3D 列印用專利鋼種之金屬粉末。

### 機械性質

從圖 2 的機械性質比較表中，我們可以看到無鈷 (Cobalt-Free) 麻時效鋼與原本麻時效鋼在拉伸強度與衝擊試驗中的比較數據。圖 3 則為 Cobalt-Free 的麻時效鋼進行 3D 列印與熱處理後之斷面組織。下方將針對 Cobalt-Free 麻時效鋼的機械性質進行詳細介紹。

### 硬度

Cobalt-Free 的麻時效鋼粉末，3D 列印熱處理後之硬度約為 HRC53 左右，日本山陽以「獨有的合金設計」、

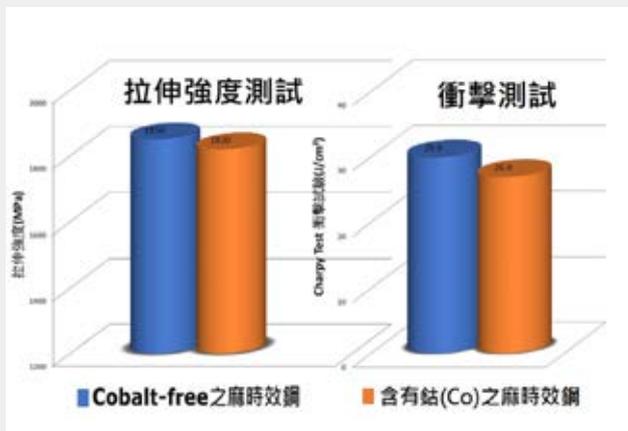


圖 2：無鈷 (Cobalt-Free) 及含有鈷的麻時效鋼機械性質比較表

「金屬組織的控制技術」，藉由列印後之熱處理，強化列印品之組織，讓 Cobalt-Free 的麻時效鋼粉末與原本含有鈷 (Co) 之麻時效鋼粉末列印後的硬度接近。

### 拉伸強度

日本山陽，除了對於粉末的球形度、流動性、含氧量的控制，對於 3D 列印後成型品的機械性質也非常重視，Cobalt-Free 的麻時效鋼列印品，其拉伸強度約為 1850(Mpa)，相較於含有鈷 (Co) 之麻時效鋼列印品的拉伸強度更佳。

### 衝擊試驗

由於此材料熱處理後的硬度高，因此擔心列印品會太脆，因此日本山陽也針對其列印品進行衝擊試驗，在反覆的衝擊試驗下，其韌性非常好。

### 結語

除了上面所提到的 Cobalt-Free 麻時效鋼粉末外，山陽特殊製鋼也針對純銅粉末在 3D 金屬列印中之應用進行研究，因銅的雷射反射率高且熱傳導快，使雷射熱源不易集中難以熔融粉末，導致列印高密度純銅工件的難度極高。對此，山陽特殊製鋼也找出最適合 3D



圖 3：無鈷 (Cobalt-Free) 的麻時效鋼之斷面組織

列印的銅合金元素和其比率，並開發出具有高雷射吸收率、擁有純銅以上強度，且列印後仍保有接近純銅的導電性、熱傳導性等特性之銅合金粉末。

做為專業特殊鋼的製造者，山陽特殊製鋼能開發出最適合用於 3D 金屬列印的金屬粉末，並找出最能提升材料特性的熱處理條件，透過對材料的專長和技術來協助 3D 金屬列印的使用者，使客戶的競爭力能更有所提升。■

### 參考文獻

- [1]. 國家環境毒物研究中心 - 鈷 : [http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq\\_detail\\_en.php?id=50](http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq_detail_en.php?id=50)
- [2]. 日本厚生勞動省 - 特定化學物質障害預防規則 : <https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei48/dl/pamphlet.pdf>
- [3]. 勞動部 - 勞工作業場所容許暴露標準 : <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=N0060004>

# 2020 新會員雜誌訂閱方案



## I【SMART Molding】雜誌介紹 I

全球華人最專業的模具與成型技術雜誌(ACMT會員月刊)

ACMT協會於2017年3月發行了《CAE模具成型技術雜誌》，將這些技術介紹與交流想法寫進雜誌，將之保存記錄下來，至今已發行40期。於2020年7月份將改版為《模具與成型智慧工廠雜誌》(SMART Molding Magazine)雜誌主題專注在報導射出成型產業相關之最新材料、技術、設備，以及應用案例等相關議題，並同步發行於臺灣、大陸、東南亞等地區。

**四大特色**

1. 每期挑選技術重點做主題報導
2. 產業界最新先進技術介紹
3. 專業顧問深入淺出講解
4. 報導企業競爭力特色

## 2020會員訂閱方案(\*優惠期間於2020年9月底前止)

會員種類 會員權益	網路會員	普卡會員	銀卡會員	金卡會員
	免費	定價:NT\$360/年 優惠價:NT\$300/年	定價:NT\$3,600/年 優惠價:NT\$3,000/年	定價:NT\$3,960/年 優惠價:NT\$3,000/年
· 活動訊息電子報	✓	✓	✓	✓
· 閱讀電子雜誌	✓ (部分開放閱讀)	✓		✓
· 收到紙本雜誌			✓	✓
· 課程活動優惠 (限ACMT特定活動)		95折	92折	9折

### 會員訂閱資訊(請勾選填寫)

方案勾選	<input type="checkbox"/> 網路會員免費 <input type="checkbox"/> 普卡會員:NT\$300/年 <input type="checkbox"/> 銀卡會員:NT\$3,000/年 <input type="checkbox"/> 金卡會員:NT\$3,000/年		
收件者姓名	E-mail		
電話	(手機)	(公司)	
收件地址	□□□		
公司名稱	部門名稱		
統一編號	職務名稱		
備註	會員確認簽名: _____ 日期: _____		

### 付款方式(ATM轉帳)

戶名:型創科技顧問股份有限公司

銀行名稱:台灣銀行板新分行 / 銀行代號: 004 / 銀行帳號:243-0010-10583

備註:1、匯款後請註明或來電告知帳號後5碼。2、匯費須自付手續匯費。

※【SMART Molding】雜誌是由ACMT協會發行,委託型創科技顧問(股)公司出版製作及訂閱等服務。

※ACMT 協會保留變更及終止之權利

ACMT協會 聯絡窗口:林佩璇 Amber | E-mail:amber.lin@caemolding.org

Tel:+886-2-8969-0409#236 | Fax:+886-2-8969-0410



## 積層製造 2.0：金屬 3D 列印產能進入量產新世代

■昱竝國際 / 林春宏 總經理

### 前言

積層製造不僅為新方法提供了更多便利工業生產，它也是第四次工業革命的關鍵推動力，而第四次工業革命則是推動全球經濟增長的革命性技術的基礎。

### 專為實現高產量和易於操作而設計的設備

金屬 3D 列印技術「單程噴射™ (SPJ™)」，其速度比雷射燒結技術快 100 倍，顯著比傳統黏合劑噴射更快。這種材料噴射技術是雙向的，其列印過程結合了 3D 列印中的所有必要步驟，因此只要有移動，就可以進行 3D 列印。另外，因其惰性且含氧量小於 2% 的封閉粉末環境，可安全且可控地支持多種非反應性和反應性金屬。從環境條件中隔離出來的粉末具一致的特性和質量，有助於零件均勻性和可重複性。兩個包含 32,000 多個噴頭的全幅列印桿與噴粉器配合使用，可在整個構建區域內一次快速通過噴粉和 3D 列印，每秒噴出數百萬個液滴，每年可以列印多達數百萬個金屬零件，零件成本比傳統製造方法還要低，專為穩定

可靠的高速列印而設計，以優化逐個列印一致性和零件質量。高性能和靈活的材料平臺，金屬 3D 列印系統構建在可擴展性的粉末冶金基礎上，列印機的處理參數可延伸數千種金屬合金和陶瓷材料可以用粉末冶金工藝。

有別於將零件焊接到列印底板上的雷射粉末熔融工藝，此系統列印的零件被鬆散的粉末包圍，從而可以充分利用列印圍護結構，並提高每次製造的生產率。同時，先進的軟體將自動排列每個零件，以使產量最大化。此生產系統非常適合大批量生產複雜的高性能金屬零件，且因不需要工具，因此可以勝過傳統製造工藝（如鑄造），同時增加了積層製造的主要優勢，如即時生產和批量定制。

### 批量生產不含鈷的硬質合金

鈷是天然元素，通常用作硬質合金碳化鎢的金屬黏結劑。鈷是鋰離子充電電池等產品中的重要組成部分，

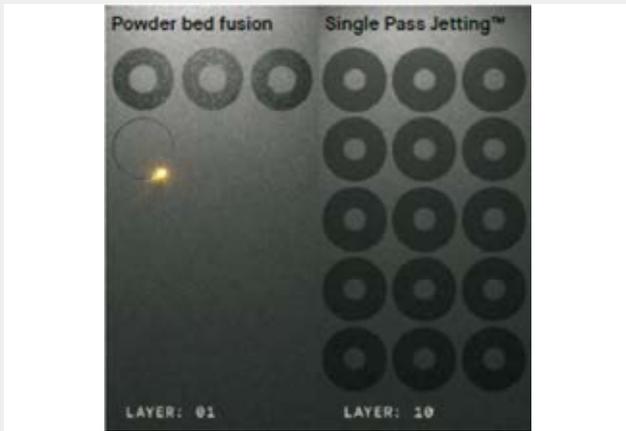


圖 1：單程噴射™ (SPJ™) 速度比雷射燒結技術快 100 倍

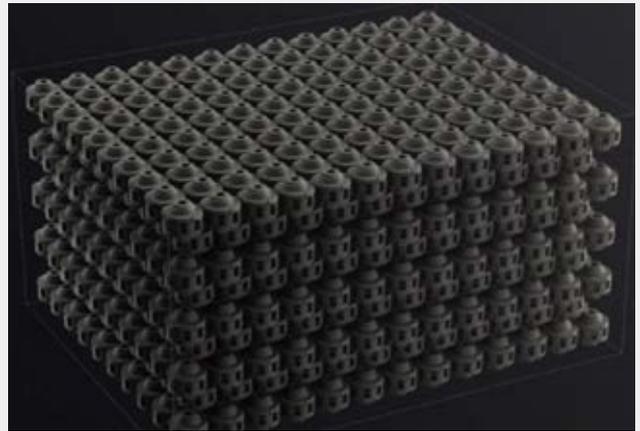


圖 2：系統軟體會自動排列每個零件，將產量最大化

	傳統製造		積層製造
	鑄造	加工	黏合劑噴射、單程噴射
廢料產生	模具耗損丟棄 廢水造成的嚴重污染	絕大多數金屬變成廢料	接近零廢料 絕大多數金屬變成零件 粉末可高度重複使用
工件	有限的幾何形狀設計	有限的幾何形狀設計	顯著的幾何自由度 輕量化 組裝和零件合併
供應鏈動力學	環境法規推動向新興市場轉移 導致關稅，交貨時間，運輸污染	擴展到大批量產成本高	多樣化不同工件可以一起列印 數位化製造減少了實體廠房設備需求
能源消耗	很高	高	很低

表 1：傳統製造與積層製造之比較表

但它也對呼吸道和皮膚造成負面影響，特別是對於那些正在開採它的人。此外，鈷的開採還帶來環境問題，如放射性水平提高、河流和飲用水被污染。對此，各方期望能採取更環保的方式，以批量生產用於國防和商業用途的金屬、合金和其他複合零件。因此一直在研究鈷的替代品，最終開發了一種獲得專利的無鈷硬質金屬材料，該材料以新型鐵基奈米材料為基質。

新型無鈷硬質合金有望產生高強度、高韌性、高硬度和高耐磨性的材料。以此材料結合單程噴射™ (SPJ™) 技術，將不僅在國防領域，且在商業領域也能有廣泛的應用。此外，我們相信這種組合方法將大幅提高可持續性，減少衝突礦產的使用，並提供環境友好的工

藝來生產具卓越性能的零件。該項目的成功完成，不僅將為硬質合金提供他們急需的無鈷硬質合金解決方案，而且將導致開發一種無需工具的加工技術，該技術能夠以這種速度將此類材料加工成極其複雜的成型零件，並可以與大多數其他大批量製造技術相抗衡，從而在硬質金屬及其應用領域開闢新視野。

### 結語

金屬 3D 列印技術已經發展到積層製造 2.0 階段，不同於以往列印每個工件都需要漫長的時間，對於複雜且加工時間長的工件，金屬 3D 列印甚至遠遠超越傳統製造方式的產能速度，顛覆了舊有的刻版觀念。欲知更多詳細資訊，請洽 [sales@brusat.tech](mailto:sales@brusat.tech) ■



## HP 3D 智慧製造大幅縮短新產品上市週期

■ 惠普資訊科技 / 黃美琦 資深業務協理

### 前言

自 2016 年，HP Multi Jet Fusion 上市以來，大大滿足了市場上對 3D 列印之速度、品質、強度和直接生產成品等需求，同時加速了 3D 製造於塑料和金屬零件的廣泛行業應用。按惠普過去推展 2D 傳統印刷轉型數位印刷多年有成的經驗，3D 列印將是引領傳統製造業開拓新商機的必然趨勢。透過 3D 列印，將使許多獨特的設計與創意，都能 100% 地被呈現並生產製造。

HP Metal Jet 3D 金屬列印零件 (17-4 PH and 316L) 主要應用範圍包括：汽車功能性或加裝組件、醫療、機械工業、消費性電子產品等。這些應用需求的共同特點在於複雜的內部或外部幾何結構，同時必須在短時間內完成設計、驗證、生產 1000 件以上，或是接受少量且高價值的同類產品定製要求。而 HP Metal Jet 3D 金屬成型的速度比當今市場上其他生產技術快達五十倍，在沒有支撐結構的情況下，特別適合結構複

雜、氣密 / 水密或一體成型之零件生產。藉由進一步優化結構（晶格、拓撲優化結構）更可節省組裝的時間與成本，為設計、功能的創新提供許多新的可能性。

### HP Metal Jet 3D 金屬成型主要特點

透過熱噴墨原理，以每秒鐘 6 億 3 千萬個奈米墨滴速度，逐層精準地將黏合劑噴撒於粉床成型位置。

#### HP Binding Agent (黏合劑)

由一種聚合物配製而成，該黏合劑可透過 HP 熱氣泡式噴頭在欲成型的區域中將金屬顆粒結合在一起。毛細管作用將 HP 黏合劑拉入金屬顆粒之間的最小空隙中，從而產生均勻的黏合劑分佈。粉床固化作用會蒸發液體成分並固化聚合物，以產生高強度生坯部分。圖 1 右上角圖片中的紅色箭頭顯示了黏合劑如何像熱熔黏合劑一樣流動，將金屬顆粒固定在一起，準備進行燒結。而該聚合物黏合劑也將在燒結的過程中遭到分解。

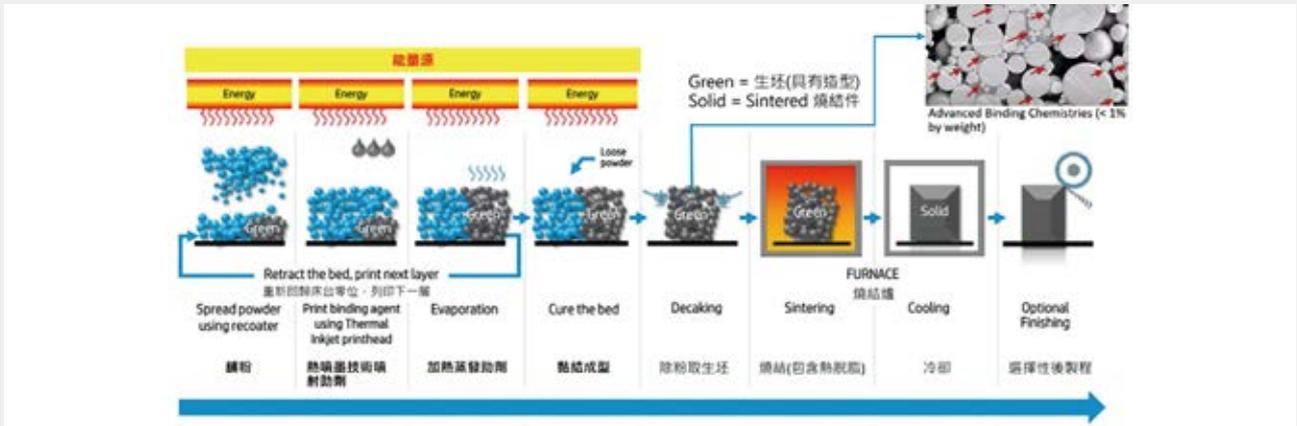


圖 1：HP Metal Jet 成型過程

### HP Thermal Inkjet (噴頭)

可將 HP 黏合劑精確地噴墨在粉末床中。HP Metal Jet 所使用的噴頭與 HP Page Wide 高速商業印刷機和 HP Latex 印表機相同。每個噴頭負責 108 毫米 (4.25 英吋) 的列印帶，同時有兩個獨立的 5,280 個噴嘴陣列，以每平方英吋 1200 個墨滴精度來負責成型位置。除此之外，HP 噴頭的另一項優勢便是操作員可以快速輕鬆地自行進行更換，即時維持產能。

### Voxel resolution (體積像素)

在列印概念中相當於 2D 像素的 3D 像素單位。HP Metal Jet 打印機的分辨率為 1200 x1200 dpi 網格，其厚度通常在 50 到 100 微米之間。HP Metal Jet 的高像素分辨率可幫助強化零件內部和外部邊緣與表面的精細細節和精準度。

### Redundant nozzles (噴嘴互補)

在橫向列印區的噴嘴組中，每個噴頭上的兩列噴嘴組兩兩對齊，讓四個噴嘴在同一 1/1200 英吋的點行中列印。這意味著四個獨立噴嘴可以在同一道 1200dpi 區域噴墨 HP 黏合劑，這又稱為 4 倍補點備援，它能夠有效地避免列印過程中噴頭阻塞的風險。

### HP Metal Jet 3D 應用案例

藉由 HP Metal Jet，美國海軍陸戰隊 (USMC) 快速重塑其供應鏈。近期 HP Metal Jet 為美國海軍陸戰隊生產兩棲突擊車 (AAV) 的不銹鋼備件，並同時滿足其三項主要訴求——「快速提供替換零件」、「加強結構」、「簡化複雜的供應鏈」。透過 3D 列印生產的優點來滿足傳統供應鏈中的不足之處，即時讓服役將近 40 年歷史的裝甲車能夠正常運行，可確保 AAV 突擊車隊繼續服役 10 到 15 年之久。

### 結語

放眼智慧製造，HP Multi Jet Fusion 和 HP Metal Jet 將通過 3D 列印的新優勢來重塑零件品質、零件功能、生產率和生產經濟性的新水平。這樣的優勢將能為傳統零件的設計和功能提供了許多新的可能性。惠普 3D 智慧製造事業群將持續推動製造業的數位化轉型，其中包括先進的 3D 零件創建用戶界面和生產管理軟體 (API)，以及功能強大的工業級 3D 印表機，推展數位製造聯盟，並提高端對端的生產力和經濟效益。■



## 金屬列印機 Markforged Metal X 之業界應用案例

■實威國際 / 連庭佑 資深工程師

### 前言

Shukla Medical 是 航 空 航 天 製 造 商 SS White Technologies 的全資子公司，設計和製造通用骨科植入物的去除工具，例如 Xtract-All® 脊柱通用脊柱植入物去除系統。他們的產品被全世界的外科醫生用來在將舊植入物替換為新植入物之前，能夠有效地取出舊植入物，同時保留了患者的骨骼。大多數骨科植入物去除工具都很複雜，需要大量時間才能操作，而 Shukla Medical 公司的通用器械以其簡單直觀的設計而聞名。

### 主要挑戰

Shukla 的產品專為整形外科醫生而設計，具有節省時間的功能，例如快速連接和多種提取選項。Shukla Medical 產品開發經理 Zack Sweitzer 表示，手術室的每一分鐘都是非常昂貴的，因此，您可以節省的任何時間都是極其有用的。儘管費用因醫院和手術程序而異，手術室的費用會從 35 美元到 100 美元以上不等。

Shukla 的工具需要由整形外科植入，外科醫師快速進行原型設計和測試，以便在最終產品製造之前檢查其形狀和裝配。該團隊最初使用他們的 CNC 機器對零件進行原型製作，或將設計發送給第三方進行加工製作。Shukla Medical 機械工程師 Adam Gosik-Wolfe 表示：「與傳統的 CNC 相比，您可以使用 Metal X 嘗試更複雜的形狀或承擔更多的設計風險。」

### 解決方案

Shukla Medical 在 2017 年採用 Markforged 3D 列印機，該列印機可以連續碳纖維列印，並使用它來製作其工具原型，而不是使用 CNC 機床，添加此設備對團隊而言是個絕佳的應用工具。Shukla Medical 的機械工程師 Adam Gosik-Wolfe 表示，我們的工具必須承受很大的負荷，而碳纖維使它們更具剛性，因此不會像玩具一樣。但是 Adam 和團隊更想要使用金屬原型，以便外科醫生更容易想像使用該工具，在擁有 Markforged 碳纖維 3D 列印機的豐富經驗之後，團隊

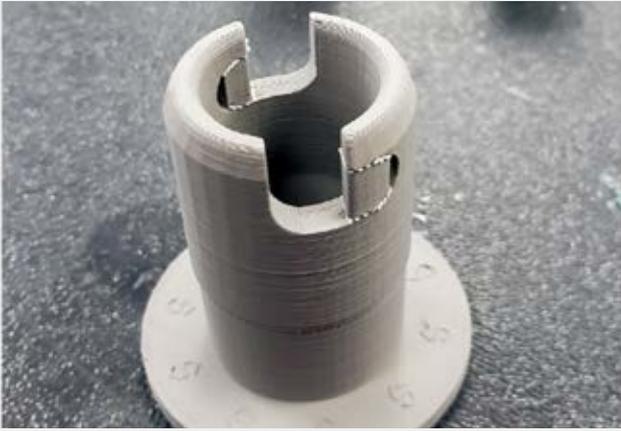


圖 1：使用 Metal X 系統製作而成的環狀特殊工具

決定添加 Metal X 的金屬列印機器，並提供全面的研發支持。Shukla Medical 能夠使用與許多最終產品相同的材料製作原型，譬如使用 17-4 PH 不銹鋼的材質。目前，他們將碳纖維 3D 列印機用於初始原型，然後將 Metal X 金屬系統用於最終原型，然後由外科醫生進行評估。外科醫生可以設想在實際切口中使用它，並可以告訴我們感覺是否正確。Shukla Medical 產品開發經理 Zack Sweitzer 認為，能夠更有效地進行原型設計，並更快地將成品推向市場，將會使他們保有行業的領先地位。此外，連續碳纖維 3D 列印機還可以用於需要後期處理時，作為任何 Metal X 零件製作時使用的柔性鉗口，這使碳纖維列印機和 Metal X 金屬列印機成為團隊中理想的 3D 列印解決方案。

### 未來展望

透過碳纖維 3D 列印機和 Metal X 金屬列印機，Shukla Medical 大幅縮短產品商業化的時間。SS White Technologies 是 Shukla Medical 的母公司，他們的工程師也經常使用 Markforged 列印機來為航空航天、汽車和醫療行業提供工具和固定裝置。產品開發經理 Zack Sweitzer 也表示，他們透過桌上型的金屬列印機，不受制於其他公司或協力廠商，可以更快地將產品推向市場，最終獲得設計的自由。



圖 2：Shukla Medical 以 17-4 PH 不銹鋼列印零件原型

### Metal X 材料選擇

- **17-4PH 不銹鋼 (SUS630)**：用於工業應用的多用途鋼，17-4PH 可以熱處理到 36 HRC，並具有 95% 的變形強度，使您能夠印刷高強度、堅固的金屬零件，以用於各種應用。
- **銅**：具有無與倫比的導熱和導電能力，是 3D 列印的獨特金屬。Markforged Copper 相較於 DMLS 機器所印刷的合金銅具有更好的導電特性。
- **英高鎳 625**：是種鎳鉻基高溫合金，具極高的抗腐蝕能力和高溫強度。它易於列印，能製造針對惡劣環境下的功能性原型和最終用途零件。Markforged Inconel 625 符合 ASTM B443 的化學要求，並在 600° C 時保持 500 MPa 的最大抗拉強度。
- **H13 模具鋼**：比 17-4PH 不銹鋼堅硬，能在高溫下保持材料性能，是種用途極廣的材料。Markforged H13 可使用 1500 MPa 的 UTS 進行 45 HRC 的熱處理，Markforged 客戶可將其用於工具主體、鉗夾具和其他需要硬度或耐熱性的零件上。
- **A2、D2 模具鋼**：其熱處理後的硬度極高。A2 工具鋼通常被認為是「通用」冷作鋼，兼具良好的耐磨性和高韌性；而 D2 工具鋼更硬，更耐磨，但韌性較低。兩者均可用於切削和成型工具，或其他重視高硬度的應用。■



## 四兩撥千斤的金屬 3D 列印

■安集科技 / 莊侑倫 特別助理

### 前言

工業 4.0 時代下，金屬 3D 列印隨市場思維在演進，除原有的設計打樣、免開模費用與節省工時之思維，賦予公司在產品設計與材質上更大的發揮空間，也重新定義產品的定位。各國企業面對勢不可擋的智慧生產浪潮，無不卯足全力研發以升級智慧生產力。而金屬 3D 列印因具多元材料選擇、快速設計製造與減少存貨等特性，在智慧生產浪潮中佔有一席之地。放眼國際金屬 3D 列印及專用材料之發展，從自行車、汽機車、航太、生醫乃至於日常生活用品等，已大量被開發和運用，而目前雖以存在尖端科技中居多，但預估未來將廣泛地被使用。下方就目前發展進行概述。

### 輕量化、高強度、耐高溫的金屬 3D 列印材料

空中巴士集團旗下 AP Works 推出世界首款為選擇性雷射燒熔 (SLM) 列印技術開發之鋁合金材料 Scalmalloy® (圖 1)，其拉伸強度高達 520MPa，破斷伸長量為 13%，抗疲勞性、可焊接度、強度重量和

延展性也優於一般鋁合金。其在高溫下的穩定度更是優於傳統航太鋁合金，非常適合航太與高溫運行的環境。空中巴士從 2015 年的機艙，到 2020 年的尾翼垂直安定面與機翼，透過設計優化與金屬 3D 列印，研發出更輕量化且高強度耐衝擊的部件。Scalmalloy® 也於 2020 年取得 F1 方程式賽車協會材料認可。

### 從實用、方便到優雅、簡潔的自行車

在商機無限，競爭激烈的自行車市場，各大車廠運用鋁合金、碳纖維、鋼材與鈦合金創造最佳化車架與部件。64 鈦，對傳統工藝來說，加工與處理困難，但對金屬 3D 列印而言卻是輕而易舉 (圖 2)。德國 Urwahn 透過金屬 3D 列印整個電動自行車車架與前叉，將管線與燈具優雅整合到車架，造型更加簡潔，更不需擔心焊接處強度不足之問題。

### 汽機車金屬 3D 列印部件

企業透過材料與製程的研發，不斷地開發新動力與



圖 1：除航太鋁合金 Scalmalloy® 外，金屬 3D 列印還可列印銅合金、不鏽鋼、鈦合金、超鎳合金等材質



圖 2：折疊自行車結合鈦合金、鋁合金、銅合金，從車架、前叉、傳動、腳踏與輪框皆為金屬 3D 列印

底盤，提升車輛整體操控與強度。世界汽車大廠如 BMW，對金屬 3D 列印早已駕輕就熟，除設計打樣外，也直接將列印之部件安裝在量產車型中。而對機車大廠 KTM 來說，金屬 3D 列印大幅縮短開發時間。列印部件可直接上場測試，快速取得最直接的反饋。在研發項目倍數成長的年代，這些演進改變更加可貴。

### 減重、省油、高耐用度，一體成型之飛機發動機

星宇航空第四臺空中巴士 (Airbus)A321Neo，採新世代發動機 CFM LEAP，油耗比過去空中巴士 A320 減少 15% 至 20%。發動機 CFM LEAP 內含 19 個 GE 公司以選擇性雷射燒熔 (SLM) 列印 Superalloy 的燃料噴嘴，至 2018 年底已生產逾 3 萬個。而燃料噴嘴的 20 個複雜部件，在金屬 3D 列印下，一體成型，減重 25% 且耐用度提升為 5 倍。

### 太空領域之應用

創業家馬克斯 (Elon Musk) 的航太製造商 SpaceX 之 SuperDraco 推進器，即是採金屬 3D 列印，來達成低成本、高強度、高延展性與高良率。而英國新創 Orbex 則是列印世界最大火箭引擎，成功減少 30% 重量，縮短 90% 時間，並降低 50% 成本。

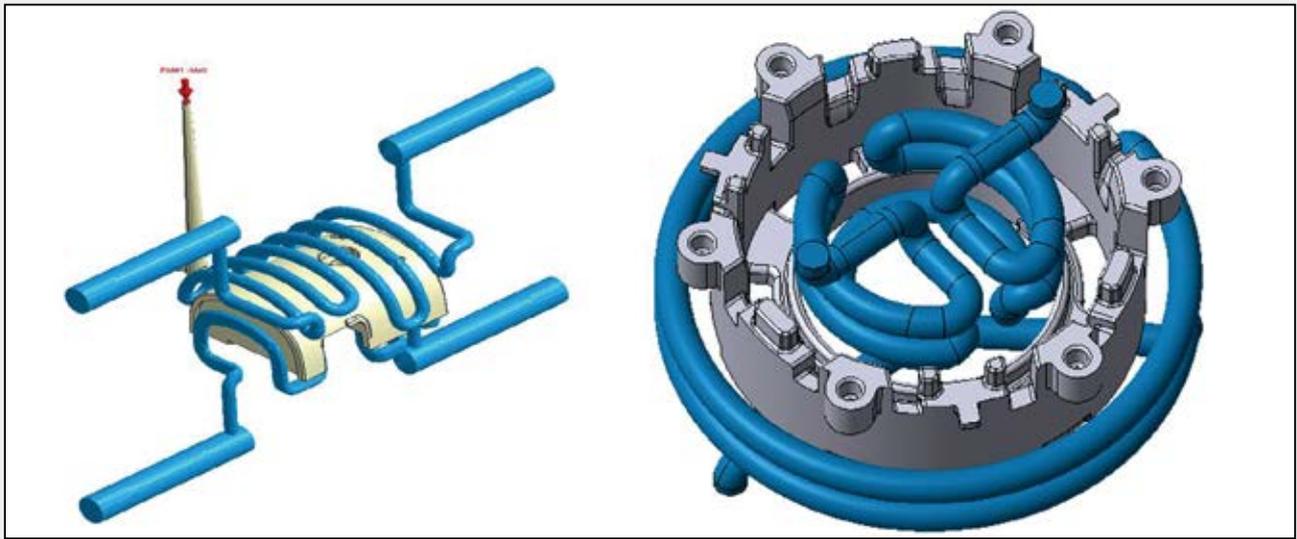
### 生醫領域之應用

相較傳統醫材植入物，金屬 3D 列印植入物具高度客製化之優勢，且可配合高生物相容性的醫材級鈦合金。目前外國金屬 3D 列印植入物，涵蓋從頭部、胸腔、脊椎，到其他骨頭，患者在術後，因客製化與既有骨骼融合良好，大幅改善術後生活品質。

### 結語

一個微量改變，產生強大的力量。隨著消費市場變遷，企業須不斷創新締造競爭優勢，以維持競爭力，而金屬 3D 列印便在這股智慧生產浪潮下探得先機，掌握一步到位、無縫接軌、材料多樣化等特性，創造了智慧製造的全新商機。

目前安集科技已取得 AS9100 航太認證 (ISO 13485 與 GMP 認證也正在進行中)，藉由最佳化的金屬 3D 列印與後處理製程搭配優質圓融金屬粉末，使產品得以完美呈現。安集科技在金屬 3D 列印服務上，積極佈局，協助企業尋找、設計、開發更貼近消費者的應用需求，打破以往傳統技術眾多不可能性，與在地企業一同成長茁壯。■



## 3D 水路的設計方法

■ Sodick

### 前言

隨著金屬 3D 列印工藝在塑料模具製作上的推廣，模具內配置 3D 異型水路的應用也變得越來越多。我們可以利用更均勻貼合產品的 3D 異型水路來提升產品射出成型時的冷卻效率，從而達到縮短產品成型周期時間、減少產品尺寸變形、改善產品射出不良的目的。

金屬 3D 列印製作的塑料模具，由於是使用 SLM 這種積層方式來堆積燒結，因此內部的 3D 異型水路的製作可以不受傳統加工工藝的限制，在設計上擁有很大的自由性。3D 異型水路設計是一種不同於傳統水路設計的新生設計工藝，而這種新生的、尚無一個統一的規範而且自由性很大的設計也讓很多設計者產生了設計困惑。面對模仁時，常會有一種手足無措且不知從何下手的感覺。這是由於我們對 3D 異型水路的設計要領、步驟不清楚而造成的，如果瞭解了就會慢慢上手了。現在我們通過一個實例將設計步驟來給大家做一個介紹。

### 3D 水路設計步驟詳解

在 3D 異型水路的設計中，可將其劃分為 8 個步驟。下方內容將以圖 1 中 3D 異型水路的模仁設計案例作為範例來為各位讀者進行說明。

- **步驟 1：**依據產品範圍確立出模仁的冷卻面（如圖 2 中的藍色面）。
- **步驟 2：**在作出模仁的反轉數據後，並使用其作出水路中心線（等高線）。如圖 3 所示，在決定了水路的直徑和距模仁外壁の間距後，按照模仁外壁的偏移作出水路中心線。
- **步驟 3：**根據水路的間隔距離在模仁數據上作出水路中心線所在的輔助平面。如圖 4 所示，首先可以作出開始平面和結束平面，然後在兩者之間按照平均間隔距離作出中間平面。
- **步驟 4：**如圖 5 所示，首先作出步驟 3 的輔助平面和模仁反轉數據之相交線，然後按間隔距離偏移出水路的中心線。

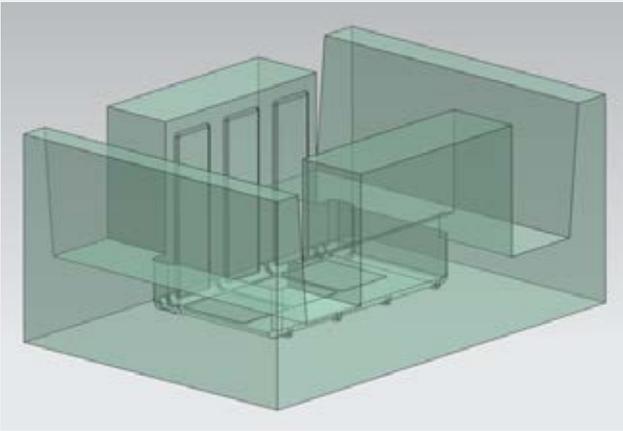


圖 1：本文的 3D 異型水路模仁設計案例

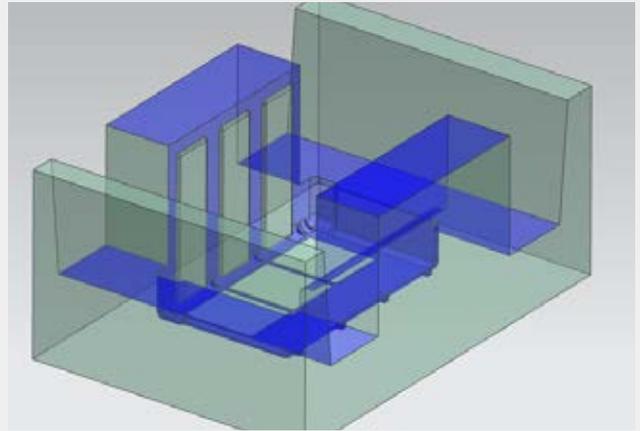


圖 2：藍色面為模仁的冷卻面

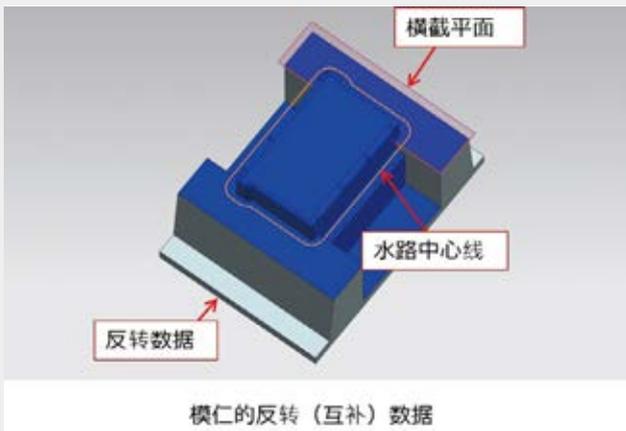
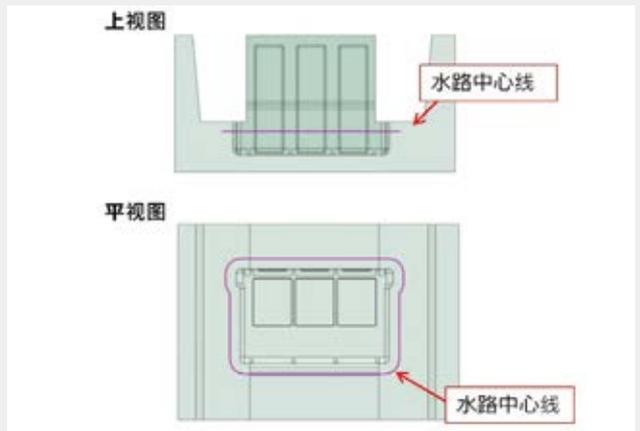


圖 3：作出模仁的反轉數據並使用其作出水路中心線（等高線）



- **步驟 5：**中心線延長然後做連接、剪切處理（如圖 6 中所示）。
- **步驟 6：**將所有拐角處做倒角圓滑處理後，中心線完成（如圖 7）。「圓滑處理」是非常重要的步驟，圓滑拐彎的水路能夠避免水路因應力而造成的破損，也能使水流更通順，提升流速，提升冷卻效率。
- **步驟 7：**完成上述流程後，便能按照水路直徑使用水路的中心線來做出水路（如圖 8）。
- **步驟 8：**使用水路和反轉數據做間距最終檢查，檢查最短距離是否正確（如圖 9）。除此之外，這一步驟也可利用水路和模仁數據進行。

### 結語

以上內容是 3D 異形水路設計的一個基本思路，實際上水路設計時，水路的直徑、距模仁外壁的距離也是非常重要的參數，這些數值會直接影響到模仁的壽命和冷卻效果，關於這些以後再找機會和大家分享。當然各種產品、模仁的形狀不同，水路設計難度也會有很大的差異，希望此文能夠給到大家一個思路啟迪，使 3D 水路的設計變得清晰而有效。■

（圖 4 至圖 10 之相關圖例，請參下頁）

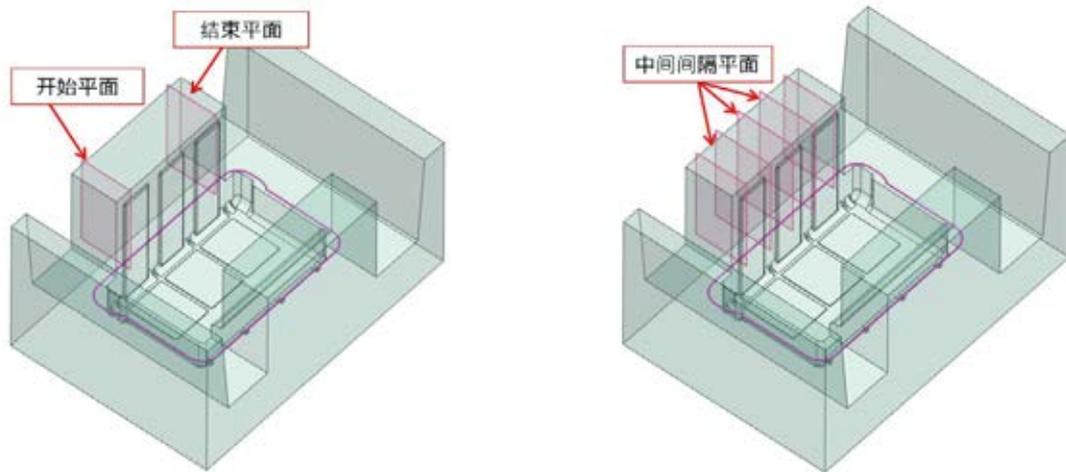


圖 4：根據水路的間隔距離在模仁數據上作出水路中心線所在的輔助平面

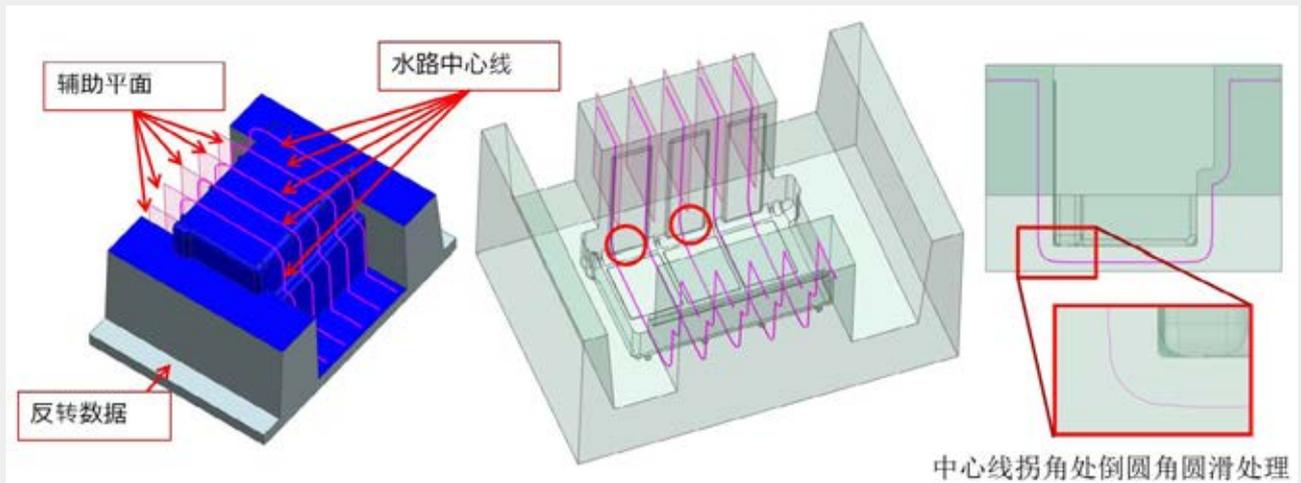


圖 5：做出的輔助平面和模仁反轉數據的相交線，然後按間隔距離偏移出水路的中心線

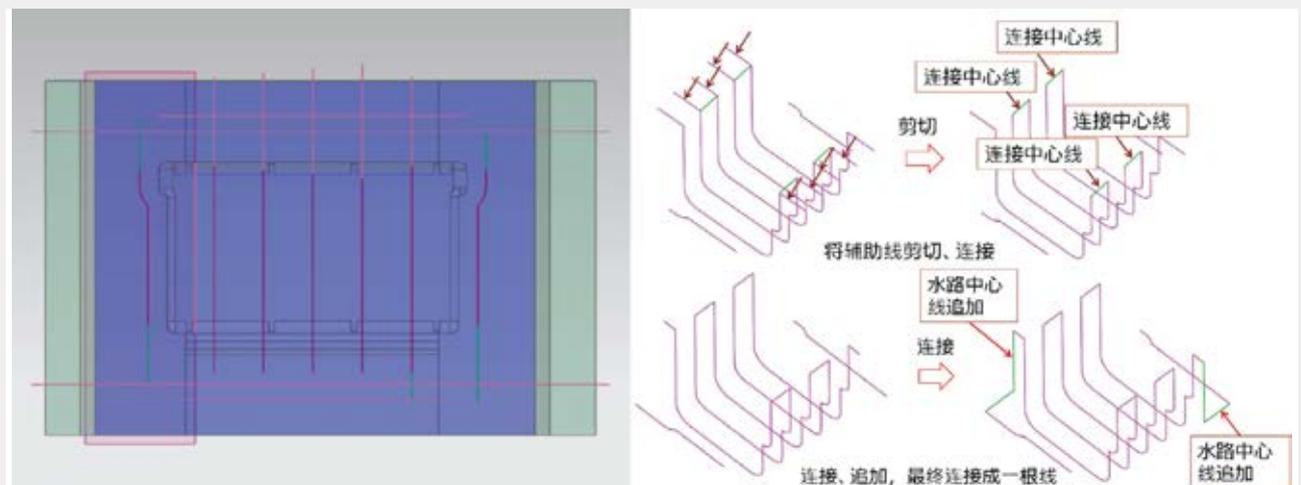


圖 6：延長中心線，然後做連接、剪切處理

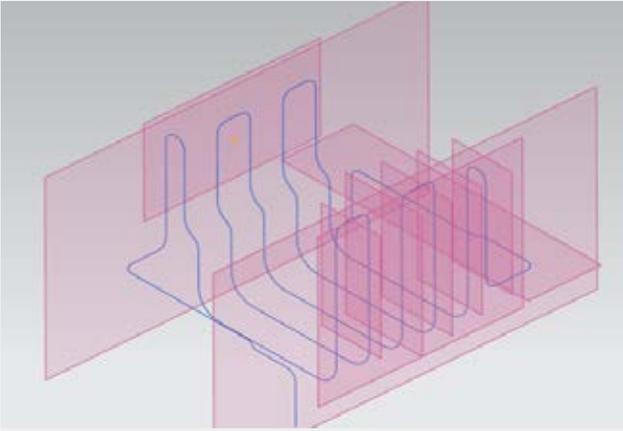


圖 7：將所有拐角處做倒角圓滑處理，中心線完成

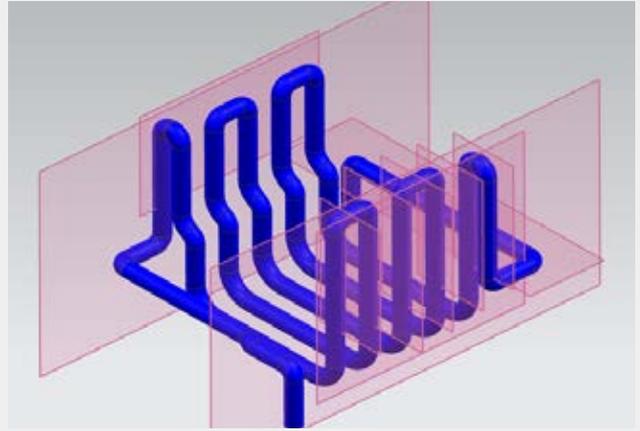


圖 8：按照水路直徑使用水路的中心線來做出水路

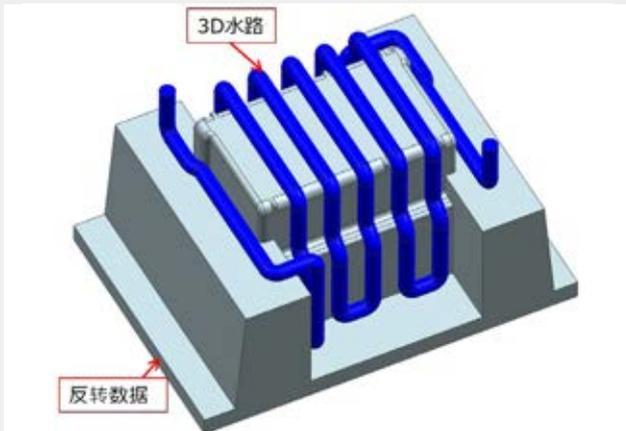


圖 9：使用水路和反轉數據做間距最終檢查，檢查最短距離是否正確（也可用水路和模仁數據）

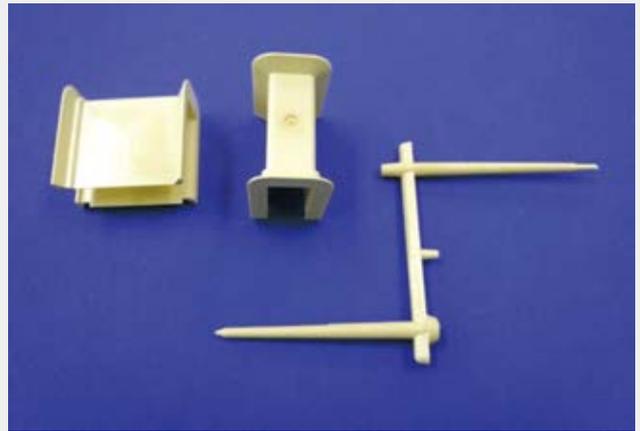


圖 10：使用 3D 水路生產的 Sodick 設備裡的線性馬達



# 訂閱SMART MOLDING MAGAZINE

## 掌握每月最新射出成型產業技術報導

SMART MOLDING MAGAZINE每月定期提供最新產業訊息、科技新知，並規劃先進技術專題報導。讓您輕鬆掌握每月最新射出成型產業技術報導，且同時享有多種會員專屬優惠。



更多資訊請掃QRCode進入會員專區