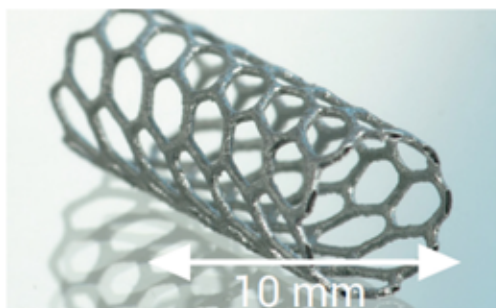
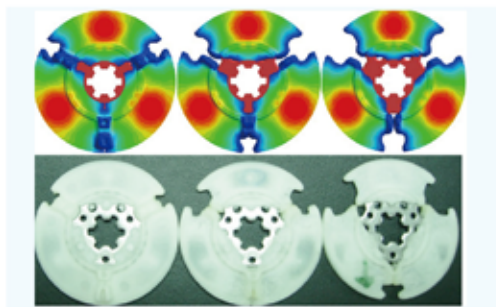
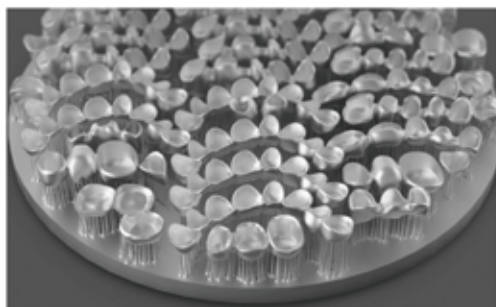


### 【三大金屬粉末成型技術的現況與未來】



專題主編：邱耀弘 博士

- 材料是一切的開始
- 壓製與燒結(PM - Press and Sinter)
- 金屬粉末射出成型(MIM)
- 金屬積層製造(MAM)
- 軟磁複合材料(SMC)



### 專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

#### 專題報導

- 軟磁複合材料(SMC)
- SLM製作模具零件
- 回歸基礎，邁向未來

#### 科技新知

- 異型水路精靈強化 增加異型水路的支援性
- 威猛展示微型液態矽膠技術生產揚聲器膜片應用
- 「消失的電弧」，如何通過材料實現產氣滅弧？

#### 顧問專欄

- 第80招-【評估塑件設計與模具設計篇】
- 言教不如身教？

#### 產業訊息

- 2023 DMP大灣區工業博覽會
- 金屬粉末射出成型技術：塑造未來的材料工程
- 重視PIM每個製程環節，提升成型品質與效率



### 從功能型射出機，邁向智慧型射出機

SMB智慧機上盒/塑膠製品業**第一名**

**9**件專利認證



聯網化

- ✓ 連結【機台數據】
- ✓ 全面提高工廠數據即時性與正確率

可視化

- ✓ 解析【關鍵數據】
- ✓ 提高生產效率

透明化

- ✓ 精煉【核心數據】
- ✓ 降低管理成本
- ✓ 簡化生產流程

#### 生產管理 (機台聯網)



- 模具管理
- 原料管理
- 機台管理
- 生產排程
- 維護保養
- 行動報工
- 效率分析

#### 製程管理 (數據管理)



- 設備聯網
- 成型條件
- 實際數據
- 能源管理
- 製程管制
- 成型履歷
- 預測指標

#### 品質管理



- 線上監測
- 模內壓力
- 視覺辨識
- 深度學習
- 人工智慧
- 設備標定
- 成型優化

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名

廣告編號 2023-10-A01

**mit** 型創科技顧問股份有限公司  
minnotec MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北 · 東莞 · 蘇州 · 泰國曼谷 · 印尼雅加達

規劃中據點

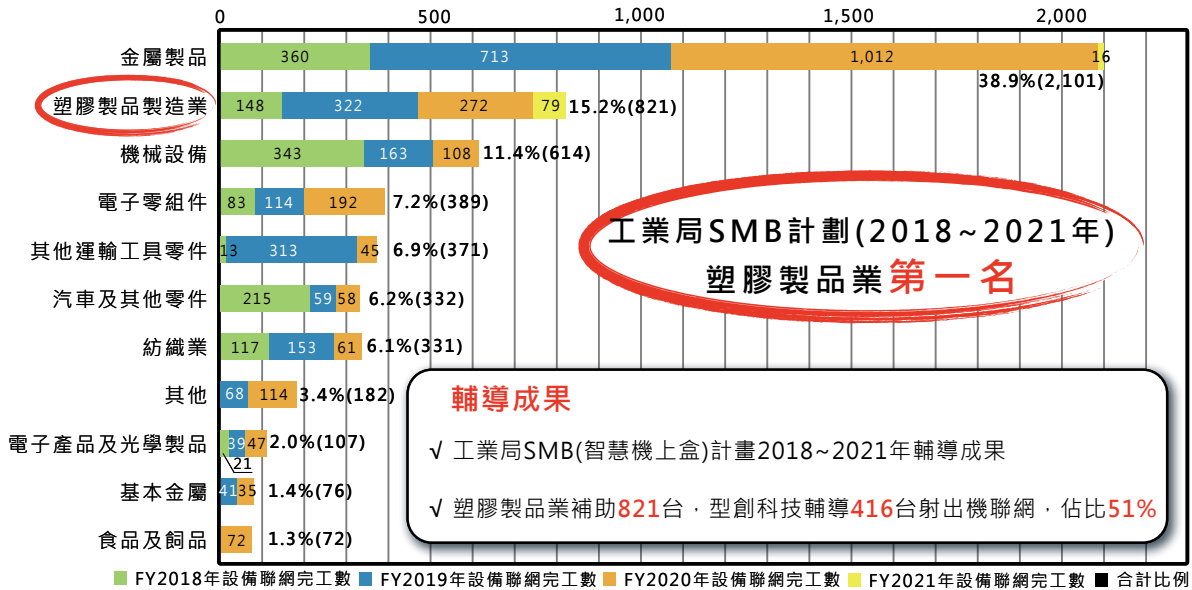
台中 · 台南 · 寧波 · 廈門 · 馬來西亞 · 菲律賓 · 越南

+886-2-8258-9155

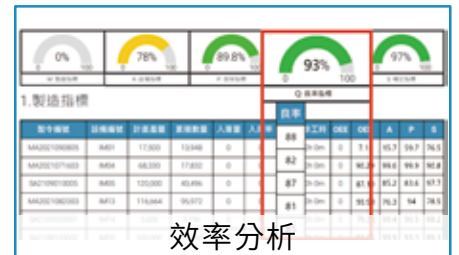
info@minnotec.com

https://minnotec.com/iom

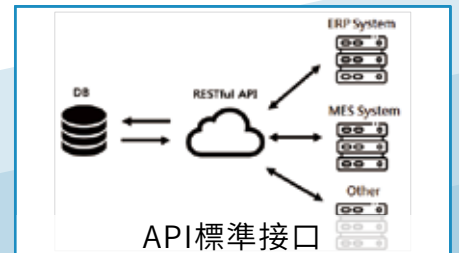
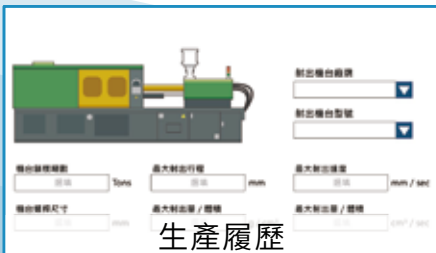




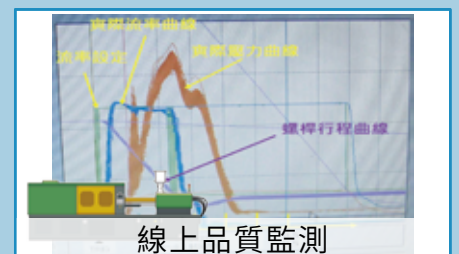
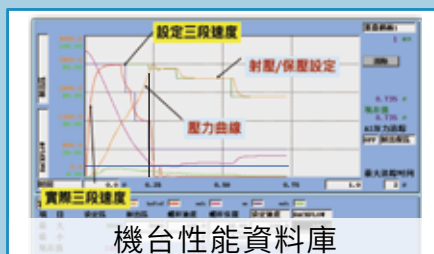
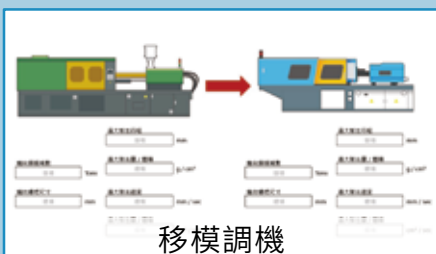
▶ IoM 生產管理(機台聯網)



▶ DoM 製程管理(數據管理)



▶ QoM 品質管理



型創科技顧問團隊 30年模具與成型產業專業輔導經驗 SMB計畫塑膠製品業第一名

廣告編號 2023-10-A02

型創科技顧問股份有限公司  
minnotec MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點 | 台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達 | 規劃中據點 | 台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南

+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/iom





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 Vito Tsai

編輯部  
總編輯 劉文斌 Webin Liu  
執行主編 許正明 Billy Hsu  
設計排版 許正明 Billy Hsu

行政部  
行政支援 林靜宜 Ellie Lin  
封旺弟 Kitty Feng  
劉香伶 Lynn Liu  
陳汝擘 Sharon Chen  
陳柏蓁 Jean Chen  
陳俞靜 Sara Chen  
何凱琳 Karin He  
陽 敏 Mary Yang

技術部  
技術支援 唐兆璋 Steve Tang 于翔 Bernard Yu  
張仁安 Angus Chang 尹睿璇 Knify  
楊崇邠 Benson Yang 詹汶霖 William Zhan  
李志豪 Terry Li  
張林林 Kelly Zhang  
羅子洪 Colin Luo  
王海滔 Walk Wang  
羅偉航 Robbin Luo  
邵夢林 Liam Shao  
劉家孜 Alice Liu  
彭楷傑 Eason Peng  
邱薇臻 Vita Chiu

專題報導  
專題主編 邱耀弘  
特別感謝 金暘新材料、威猛集團、科盛科技、型創科技、  
趙育德、林秀春、林宜璟

讀者專線 :+886-2-8969-0409

傳真專線 :+886-2-8969-0410

雜誌官網 :www.smartmolding.com

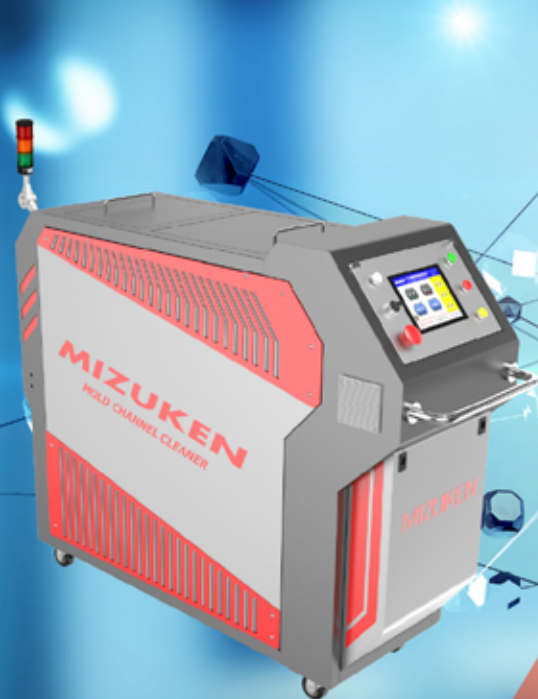
※【SMART Molding】雜誌是由 ACMT 協會發行，委託型創科技顧問(股)公司出版製作及訂閱等服務



# MIZUKEN®

## 多功能模具水路清洗機

### 多機能金型冷卻管洗淨機



功能說明 ▶  
機能說明



廣東水研智能設備有限公司

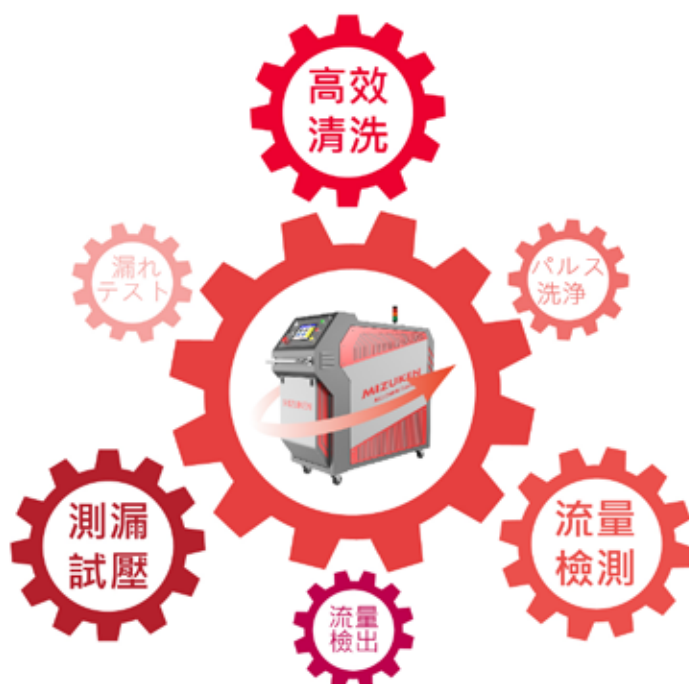
GUANGDONG MIZUKEN INTELLIGENT EQUIPMENT CO.,LTD

地址：廣東省東莞市虎門鎮雅瑤工業二路1號

No.1, Yayao Industrial Second Road, Humen Town,  
Dongguan City, Guangdong Province

郵件：joinhung@gmail.com

網址：www.mizuken.com.cn



廣告編號 2023-10-A03

TEL +886-938009549

## 廣告索引



型創 AIoM 智慧型射出機聯網方案 ---	P2(A01)
型創 AIoM 智慧型射出機聯網方案 ---	P3(A02)
水研 -----	P5(A03)
ARBURG -----	P9(A04)
型創 TZoM 專業顧問輔導 -----	P35(A05)
型創 AToM 先進模具與成型技術 -----	P47(A06)
數位版雜誌宣傳 -----	P55(A07)
型創應力偏光儀 -----	P56(A08)
優伶科技 -----	P73(A09)
冠理科技 -----	P74(A10)
科盛科技 -----	P75(A11)
DMP 2023 大灣區工業博覽會 -----	P79(A12)
映通——微射出成型解決方案 -----	P84(A13)

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：[www.smartmolding.com](http://www.smartmolding.com)



ACMT 模具行業雜誌 No.044 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【AI虛實整合：工業4.0時代的數位分身】**

專題主編：張景田 博士

專刊內容：張景田 博士  
- 專刊內容：張景田 博士  
- 專刊內容：張景田 博士

Industrial 4.0

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code

ACMT 模具行業雜誌 No.043 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【模具成型產業的最新光學技術與應用】**

專題主編：陳紹明 教授

專刊內容：陳紹明 教授  
- 專刊內容：陳紹明 教授  
- 專刊內容：陳紹明 教授

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code

ACMT 模具行業雜誌 No.044 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【LSR射出成型的產業應用與發展趨勢】**

專題主編：曾登昌 教授

專刊內容：曾登昌 教授  
- 專刊內容：曾登昌 教授  
- 專刊內容：曾登昌 教授

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code

其他主題的模具與成型智慧工廠雜誌  
邀請產業界專家與企業技術專題  
每個月定期出刊！

ACMT 模具行業雜誌 No.043 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【特殊高性能材料之介紹與相關應用技術】**

專題主編：劉文斌 技術總監

專刊內容：劉文斌 技術總監  
- 專刊內容：劉文斌 技術總監  
- 專刊內容：劉文斌 技術總監

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code

ACMT 模具行業雜誌 No.042 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【射出工廠的數位化轉型：IT與OT的相遇】**

專題主編：張列強 ACMT副社長

專刊內容：張列強 ACMT副社長  
- 專刊內容：張列強 ACMT副社長  
- 專刊內容：張列強 ACMT副社長

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code

ACMT 模具行業雜誌 No.041 2020/10  
www.smartmolding.com

**SMART Molding Magazine** 模具與成型智慧工廠雜誌  
ACMT SMART Molding Magazine

**【產業輕量化與無損檢測技術應用】**

專題主編：黃冠輝 副教授

專刊內容：黃冠輝 副教授  
- 專刊內容：黃冠輝 副教授  
- 專刊內容：黃冠輝 副教授

專題報導 | 科技新知 | 產業訊息 | 顧問專欄

QR Code



第一手的  
模具行業情報



最專業的  
模具技術雜誌



最豐富的  
產業先進資訊

[www.smartmolding.com](http://www.smartmolding.com)  
ACMT SMART Molding Magazine



# 目錄 Contents

## 專題報導 In-depth Coverage

14 材料是一切的開始

20 壓製與燒結  
(PM - Press and Sinter)

24 金屬粉末射出成型 (MIM)

30 金屬積層製造 (MAM)

36 軟磁複合材料 (SMC)

42 SLM 製作模具零件

48 回歸基礎，邁向未來

## 科技新知 Technology showcase

58 異型水路精靈強化 增加異型水路的支援性

62 威猛展示微型液態矽膠技術生產揚聲器膜片應用

64 「消失的電弧」，如何通過材料實現產氣滅弧？

## 顧問專欄 What experts say

66 第 80 招、Moldex3D 電腦試模看得見真好【評估塑件設計與模具設計篇】

70 言教不如身教？

## 產業訊息 Industry News

76 2023 DMP 大灣區工業博覽會

80 金屬粉末射出成型技術：塑造未來的材料工程

82 重視 PIM 每個製程環節，提升成型品質與效率

新登場!



數位版雜誌上線中!  
隨時隨地都能閱讀!

The image shows a promotional graphic for the digital magazine. It features a yellow banner at the top right with the text '新登場!' (New Arrival!). Below the banner, there is a QR code and a small image of the magazine's digital cover displayed on a tablet and a smartphone. The cover shows various articles and images related to the magazine's content. At the bottom, there is a green box with white text that reads '數位版雜誌上線中! 隨時隨地都能閱讀!' (Digital magazine online! Read anytime, anywhere!).



一個系統合作夥伴  
一條工藝鏈  
一種品質保障

唯一的

一個負責人  
一個項目  
一個計畫  
一個解決方案

10 YEARS  
1923-2023  
OF THE HEHL COMPANY



2023 年 10 月 17 - 21 日

A3 展館, 3101 展台  
德國, 腓特烈港

WIR SIND DA.

機器, 周邊設備, 製程 — 我們為您做到。 借助我們的交鑰匙 (Turnkey) 解決方案, 我們為您要求嚴苛的生產任務分擔計畫和執行工作。 您只需專注於最根本的方面: 您的客戶。

[www.arburg.com.tw](http://www.arburg.com.tw)

**ARBURG**

阿博格



## 邱耀弘 博士

### 經歷

- 耀德技術諮詢有限公司 首席講師
- ACMT 材料科學技術委員會主任委員 / 粉末注射成形委員會副主任委員
- 大中華區輔導超過 10 家 MIM 工廠經驗，多次受日本 JPMA 邀請演講

### 專長

- PIM(CIM+MIM) 技術
- PVD 鍍膜 (離子鍍膜) 技術
- 鋼鐵加工技術

## 從無形到有形的製造技術

### 楔子

眾所周知，氣體和液體物質是無形的，最簡單的例子就是水，把水裝到任意形狀的容器，受到重力下拉的影響，水會迅速填滿容器並符合容器內的造型，但是要是容器是具有底切結構或是半封閉結構就有可能沒有辦法讓水填滿該空間並留下氣泡，如果該處有排氣設計，那水就可以順利填滿這個容器，然後加以降溫固化獲得有形狀的冰塊，傳統的金屬鑄造就像水固化成冰，差異在溫度區間不同，但液相凝成固相是一致的現象。因此，固體材料如果想和水一樣的填充到容器中，唯一的辦法就是把固體研磨成粉末並加入適當的載體，固體粉末便可以理想的填充到容器中的空間。

有了這種概念，利用固體粉末化或甚至加入部分可以相轉變（固 - 液）的無形狀物質便可以用來塑造形狀，甚至我們還不需要有邊界的容器，改用有邊界的能量輸入，迫使該區域材料由固轉變液再轉變為固，最終達到一個有邊形體的產品，這便是一種粉末成型的製造概念，包含需要模具的傳統粉末壓製法 (PM, Press and Sinter)、金屬粉末注射成型法 (Metal -powder Injection Molding, MIM)，以及當下最多人討論，不需要模具的金屬積層製造 (Metal Additive Manufacturing, MAM)，無論是哪一種工藝，由無形的材料獲得到有形的產品，都屬於粉末成型技術的一大特色。

### 有形的模具——可靠的大量生產工具

再回想更有趣的，古代人類早早就會利用粉末成型來製作工具，例如陶器與瓷器、泥造房屋等，這可說是最早的 3D 造型產品，產品成型是靠人手捏出來的；食品上使用粉末技術更不在話下，把收穫的穀物曬乾後研磨成粉，再重新加水攪拌混合成為食材，如水餃皮、麵條、各種造型的饅頭等等，雖然這些不是應用在金屬成型的範疇上，但顯然粉末成型技術的無形與有形之間的轉換，在人類社會老早就使用著並長期應用著、我們很難探究到底是誰發現粉末成型的技術，但不可否認的這個成型技術的價值給人類發展帶來無限的可能。

使用模具定形並快速獲得產品的時代顯然比徒手捏製產品時代來的更晚，因為聰明的祖先們很快地發現以模具控制固定形狀對於產品的特性是有保障，也就能夠精確地計算物料並換回豐厚收入，否則沒有定性（形狀）就沒辦法定量，產品的品質無法獲得保證。20 世紀（1901-2000 年）可以說是模具橫行的起源，而且是集中在後





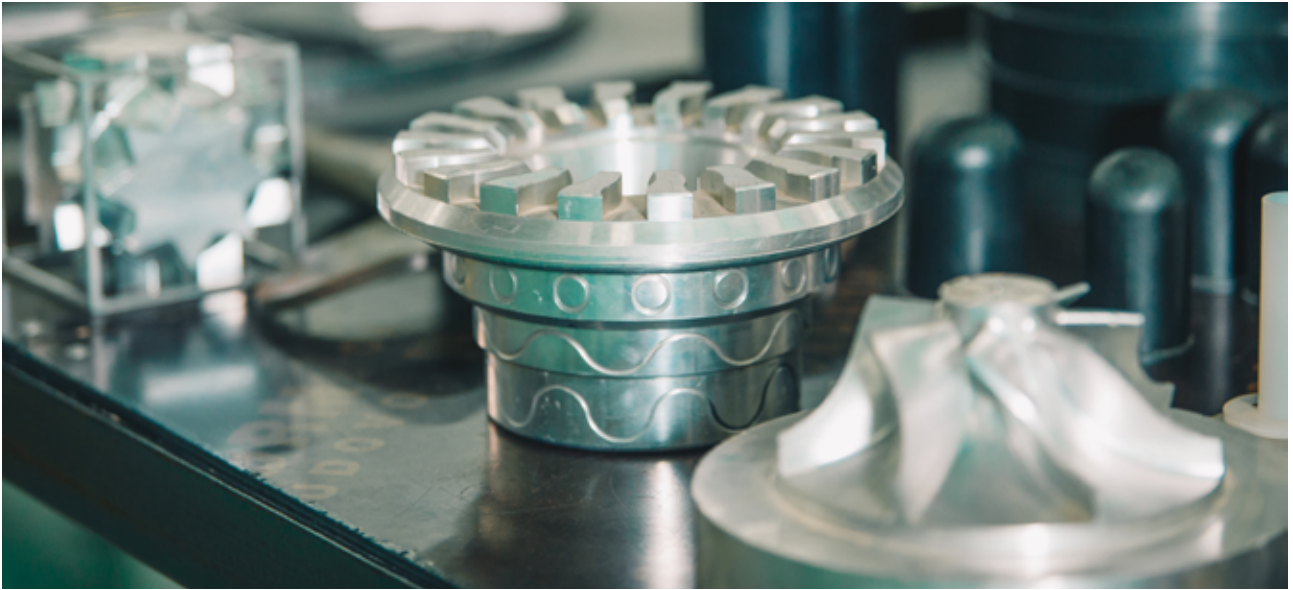
(圖片來源：Freepik.com)

50 年，在第二次世界大戰結束後人們開始覺醒，工業進化不是用來殺戮同類而是來造福彼此，大量製造各種民生用品修補戰爭帶來的禍害，因而凸顯了模具對文明進化的重要性。

有趣的是，人類使用最早的模具是來自砂子——這也是一種粉末狀態的陶瓷顆粒，用沙子塑造形成型腔，將熔融金屬倒入型腔後經過冷卻，打破砂模便可以得到金屬產品，不過這個砂模只能使用一次，這便是有數千年歷史的金屬鑄造，即便是現代對於超過 1000°C 的金屬仍都採用砂模鑄造。隨後發展到現在可重複使用鋼製的模具，注射塑膠熔體甚至是金屬熔體或是金屬粉末與黏結劑混合的喂料熔體，經冷卻獲得製品的雛型，模具必須堅固並經得起多次反復的熱應力和材料流的衝擊。在 1960-2000 年的 40 年之間，隨著塑膠材料高速的發展也促使模具技術的大幅進步，因此注射成型（包含塑膠注射、金屬壓鑄與金屬粉末注射成型）與衝壓（包含粉末冶金壓製、板金加工）兩種技術可稱為人類發展以來製造有形物品最快速的兩個方法，生活在現代社會的人們很難不使用到注射與衝壓的零件，這些零件所組成的產品已經成為生活上的必需品，包含手機、飲料瓶，甚至汽車和飛機中，無處不在。模具製造產品經成為現代文明必須工藝。然而模具的製造費用高且所需要的製造時間長，產品要大量製造的代價並不便宜，每個產品必須分攤模具的費用，當產品越少、分攤費用越高，那有沒有更好的辦法呢？

### 看不見的邊界——能量協助定義形狀

在模具技術大量發展之前，可能許多製造業主都始料未及的是一種特殊的且可控的能量出現——雷射（Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, LASER 台灣採用音譯）又簡稱為激光（大陸採用意譯），其理論基礎起源於物理學家愛因斯坦，1917 年愛因斯坦提出了一套全新的技術理論「光與物質相互作用」。雷射的出現造就了現代熔融型積層製造的開發，並且也全面提升了相關雷射產業的出現，半導體、醫療工業也因雷射得以興盛，雷射與不鏽鋼的發明堪稱是人類近百年來十個頂尖且有影響力的發明之二。



(圖片來源：Freepik.com)

跟大部分能量源相比較，雷射是一種可以集中並有指向性可控的能量源，這對於製造業幫助就異常的高，指向性能量可以非常清楚地切割、焊接材料，尤其是焊接，更廣義的來說，把兩個物件焊接在一起可以形成一個一體化物件，於是這個技術觀念被用到把一堆粉末融化並形成一個一體化物件的一部分，然後重複有序地進行這個步驟，我們便可以獲得尺寸控制和形狀可控的物體，這樣便是金屬積層製造的基礎，在上世紀後 50 年到本世紀至今 (1950-2023)，這種技術已經趨近成熟，不需要特別製作模具，便可以獲得我們想要的零件與產品，對於製造工業無疑是一個巨大的突破。

金屬粉末在金屬積層製造扮演的角色變得舉足輕重，利用控制粉末不同大小顆粒範圍以及雷射的功率與光斑大小，我們可以用這種加法加工獲得不同精細程度的產品，再搭配減法加工的數值切削，目前最精細的解析度已經可以達到 5-8 $\mu\text{m}$  的積層製造後的精度，這已經比早期 50 $\mu\text{m}$  一層的解析度要高出非常多，當然，金屬粉末的顆粒也由 15-53 $\mu\text{m}$  的範圍移轉到 0.8-15 $\mu\text{m}$  的範圍，而雷射的功率和光斑也就更低更小。沒錯，那這樣的積層製造堆積產品的速度不就更慢了？別忘了，我們製造的產品當然也就更精細，這和大型產品的設計是截然不同，讀者要分辨清楚積層製造的工藝和產品體積與尺寸的關係很大，俗話說「殺雞不用牛刀」便是要針對產品來選擇適當的工具，需要細微結構通常產品的尺寸就非常的小，如果把巨大的產品拿給極高精度的積層製造方式來做，在本質上已經違反製造效率的原則，也不符合該技術的能力範圍。

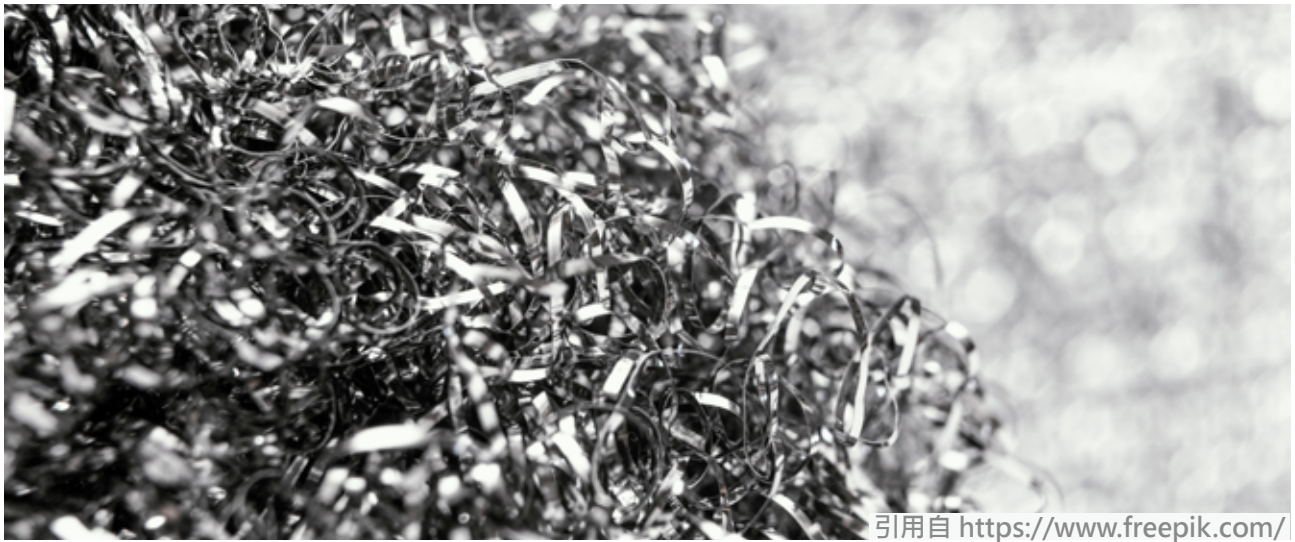
## 展開

本期專刊由敝人 (Dr. Q) 進行編寫，有鑑於著重在粉末成型技術，特邀趙育德先生一同進行內容的編寫，敝人在粉末冶金與金屬粉末注射成型已經有 30 年的經驗，趙先生是敝人在職過程的學生兼任事業上的合作夥伴，在金屬粉末注射成型有 15 年的經驗並加上 4 年博士班的金屬積層製造學習，我倆都蒙台灣科技大學機械工程系林舜天教授 (PM/MIM) 與鄭正元教授 (MAM) 的指導，藉助本次專刊將所學與工作經驗、技術前沿分享給廣大的讀者，一起在粉末成型三大技術領域向前邁進。■









引用自 <https://www.freepik.com/>

## 材料是一切的開始

■耀德講堂 / 邱耀弘 博士

### 前言

在 1996 年（剛好 Dr. Q 當時 30 歲整當日）取得博士學位後便投入產業界至今，如果連同在學打工已經有超過 30 年的機械與材料產業的工作經驗，從一開始僅僅繪製圖到手工鉗工作業、編寫專利、真空技術學習到粉末成型技術的落實，確實了解到一切產業技術源頭便是材料。

材料學科是一門隱學，正如我們常看武俠小說中的內功，一般人無法看透大俠們的內功功力到底有多深厚，材料學科的組合基礎第一個當然是數學，再來便是物理、化學，同時要組合語言包含中文和英文（閱讀資料、理解內化、撰寫報告），如果可以，一點點的美術（畫圖）基礎比較容易表達一些現象的描述，由於電腦科技的進步，我們已經不需要像以前收集論文、材料基本訊息那麼辛苦，因此電腦上的操作技術包含 Office 三件套 (Word, Power point, Excel) 和網路的資料尋找、簡易繪圖與影像編修，已經是材料學科

必須具備的隨身工具軟體。

僅僅在大學時代學習的材料學科是不夠的，因為大學課程只能是基礎的理解和打底，學習的範圍跨度很大但深度無法很深，主要在於實際操作在材料學科上扮演重要的知識實踐來源，材料學科實際操作包含各種理化實驗，通常實驗的條件都是較為簡單而可控，到了工業生產的實際操作，顯然有更多的變數不可控，不過基礎仍舊源自基本學科的實驗而來，比較常見的是學生畢業後已經忘記當年所學習的課程和實驗結果，這就必須記得回去翻閱資料複習。

### 工程與科學

我在學生時代是 1982 年進入光武工業專科學校機械工程科製造組（臺灣的五年制專科學校，前三年等同高職，後二年等於大專），當時學習製圖的標示以絲（或稱條）=0.01mm 已經算是非常精密了，雖然分釐卡已經可測量到  $\mu\text{m}$  等級，但平常使用游標卡尺最



大集合：哲學>數學>科學>工程						
1800之前	工程	科學			數學	
1800-1900	工程		科學		數學	
2000年之後	工程			科學		數學
工程尺度分類	工程	精密工程	顯微工程	納米工程	原子分子工程	量子工程
尺度	M-mm	1mm-0.01mm	100-0.5 $\mu$ m	500-1nm	100-0.1nm	Å

表 1：隨時代的進步，工程的尺度不斷的向量子等級邁進

多是判斷到 0.02mm 已經很細微了。老師告訴我們工程可以忽略千分位元小數點，僅討論到百分位即可。表 1 顯示時代的進步使工程的尺度是不斷地邁向更細微的尺寸，也就是朝量子等級邁進，包含觀察與檢驗的儀器也都如此。

儘管我們機械製造工程僅僅停留到微米等級，但是製造工程的材料已經到達奈米級的水準。在過去，工程和科學的差距不斷的縮小有賴於檢驗與加工設備的進步，這是不爭的事實，最明顯的例子就是半導體製程的導線間距，已經從微米等級一路狂奔到 3 奈米 (3nm)，甚至突破當時科學家認定的熱力學極限，可以預見的將來會有量子級的製造業出現。其實今年最有戲劇系的常溫超導體有可能要進入量子級的分析，雖然是真是偽很難說，但是製造的極限越接近量子勢必會帶給人類更翻天覆地的改變，這已經在半導體產業取得真實的證明。

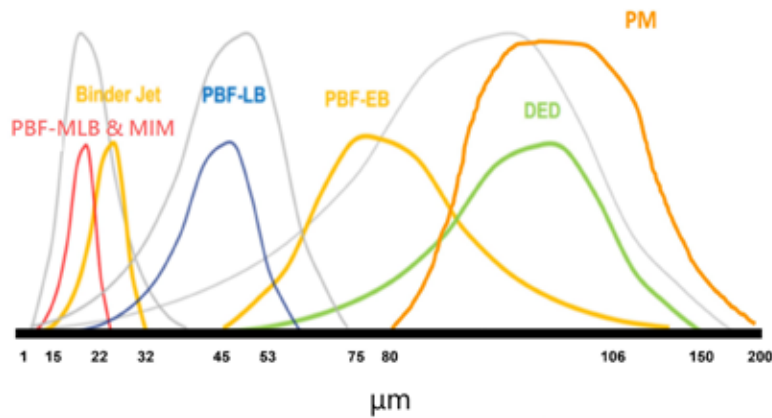
不過，讀者們別擔心，本期專刊只討論到微米級別，也就是比絲 (0.01mm) 更小一位的小數點的微米 (0.001mm=1 $\mu$ m)，請勿擔心看不懂。

### 材料的形貌——以尺度分析

一般在減法製造（切削）都是拿取大塊的材料進行分割、切削和磨平獲得零件或是產品，然後有部分用到最早的加法製造（焊接）把材料增加在零件上並再次的加工使其符合尺寸和外型的要求，因此，粉末成型技術無非就是把許多成萬億的細微粉末（一顆粉末等於一塊材料）經過模具的限制使其堆積緊密（低溫快速成型），然後高溫的燒結（同步固化），或是直接以高能量的將粉末層逐層逐列按設計的要求進行熔融成為有形的物件。因此，我們要了解材料——也就是粉末的特徵，包含粒徑、形狀和其表面狀態，合稱為粉末的形貌。這和傳統加工過程沒啥不同，我們在取用材料必須了解材料的尺寸和規格，這是不變的原則，即便是微米等級的加工也一樣，最大的差異便在數量，一個是可數（mm 等級），另外一個是不可數（ $\mu$ m 等級），但是都可以使用重量來區分之。

### 粒徑

那麼金屬粉末的用於粉末成型技術上定義則為等效直徑在小於 200 $\mu$ m 以下，如圖 1 所表示。其中縮寫和粒徑範圍為圖所附的表中顯示。其中等效直徑可以使用粒徑分析儀來檢驗，但較粗的粉末 (d>50 $\mu$ m) 仍慣用傳統的篩網以目數（Mesh，每平方英吋孔數）表



縮寫	英文	中文	粒徑範圍
PM	Powder Metallurgy, Press and Sinter	粉末冶金壓製燒結	80-200
DED	Direction Energy Disposition	定向能量沉積	53-150
PBF-EB	Powder Bed Fusing – Electric Beam	粉末床熔融-電子束	45-110
PBF-LB	Powder Bed Fusing – LASER Beam	粉末床熔融-雷射束	15-55
Binder Jet	Binder Jetting	黏結劑噴射	10-35
PBF-MLB	Powder Bed Fusing – Micro LASER Beam	粉末床熔融-微雷射束	1-22
MIM	Metal-powder Injection Molding	金屬粉末注射成型	1-22

圖 1：不同金屬粉末成型製程所需要粉末粒徑範圍

示，微米與目數的換算因數是 15,000，例如 500 目 =15,000/500=30 微米、75 微米 =15,000/75= 200 目。

由於 PM/DED 的粉末較為粗大，傳統 PM 因為沒有使用太多黏結劑，僅有少量潤滑劑，必須藉助粉末的塑性變形才能互相結合，因此可以使用較粗且不規則、硬度較低的金屬材料粉末，但也有例外，若是硬質合金，就必須倚靠較多的黏結劑來協助粉末互相結合；DED 則需要送粉順暢，因此要求粉末外型較為圓潤的等軸狀顆粒，以便粉末的輸送到熔噴口輸出。相對的，PDF 需要較為集中的圓形金屬粉末顆粒，根據能量源分為 EB、LB、MLB 三種不同大小的能量，粉末粗細不相同且熔融後表面粗度和層解析度是不一樣的。PBF-MLB 的技術已經等於甚至比 MIM 的精確度更高，所用的粉末甚至要求更細小。

然後，我們便要理解粒徑分析報告的重要性，利用細小的粉末在液體中進行的布朗運動（Brownian motion，1827 年英國植物學家觀察到花粉在水中的運動）以雷射光穿透並收集到數據來分析粉末粒徑分佈圖，如圖 2 所表示，能夠非常形象的把難以計數的粉末進行定性的分析，因此得到一個平均粒徑的累積值，在均勻材料密度的前提下，在分析總量下進行平均粒徑的百分比 (DXXX, XXX=1~100%)，其中最重要討論在 d10/d50/d90 以及 d91-d100 的總量占比值。一定要注意不能只看平均粒徑而不去觀察區段的體積占比，d1-d10 的比例很少可是數量會很大，細小粉末過多有好有壞，這要根據製程而定，例如 MIM 的細小粉末可以幫助表面形成緻密層；但 d91-d100 比例過高，在燒結產品上會留下孔洞，不適合做為表面要求拋光的零件。



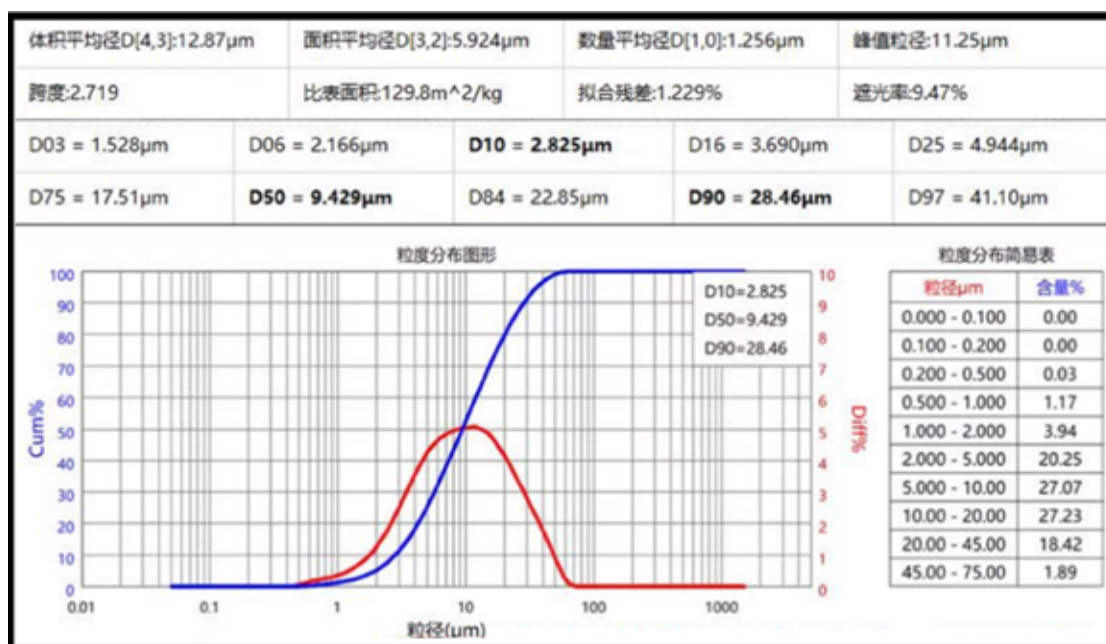


圖 2：典型的金屬粉末粒徑分佈分析圖（圖片由廣東潮藝金屬提供）

### 粉末的形狀

粉末的形狀在有了電腦數值分析之後便不再如以前使用類比對比方式，透過數學模型如圖 3 可以定義成多面體來描述其形狀因子，而且是跟一個圓球體來做比較，這樣可以由定性分析走向定量分析來幫助數學模擬真實的粉末情況。當然，還有其他的分析方法，例如以二維影像數張來判別，使用的是早期的影像分析軟體以投影法分析；更精準還有使用工業電腦斷層掃描 (Computed Tomography, CT)，搭配有限元素分析進行分割計算，獲得更為精準的數據。隨著電腦科學與檢驗探頭的技術越趨進步，粉末的分析結果由定性已經逐漸邁向定量分析結果，對於製造的精密度就會更準確，那麼質量檢驗過程的效率包含取樣、檢驗、數據收集以及分析自然就要被要求更有效率。

### 表面狀況

圖 4 是實際以掃描式電子顯微 (Scanning Electronic Microscopy, SEM) 進行影像拍攝，目前還是處理人為主觀判斷，不同粉末製程可以容許使用的粉末表面狀

況也有所不同。

### 材料的化學成分

在三大金屬粉末成型技術所使用的金屬材料是有區分的，如表 2 所表示。詳細的牌號會在後面介紹三大製程時詳細說明。

### 小結

經過將近半世紀的努力，粉末成型技術已經榮登金屬零件製造技術的近淨成型 (Near Net-shape) 殿堂之首，在全球華人努力下中國製造的金屬粉末（包含三大技術所用）已經位居全球產量之冠且性價比最高的地位，市場需求和應用亦同於金屬粉末原材料的情況，我們恰逢其盛況，歡迎更多讀者的閱讀並加入粉末成型的行業。■

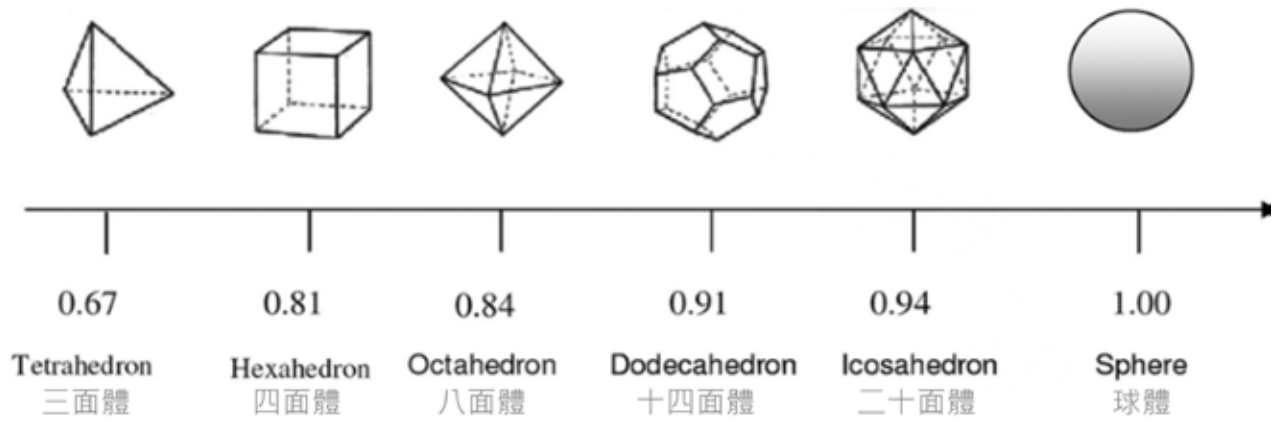


圖 3：相對圓球度使用標準多面體來模擬

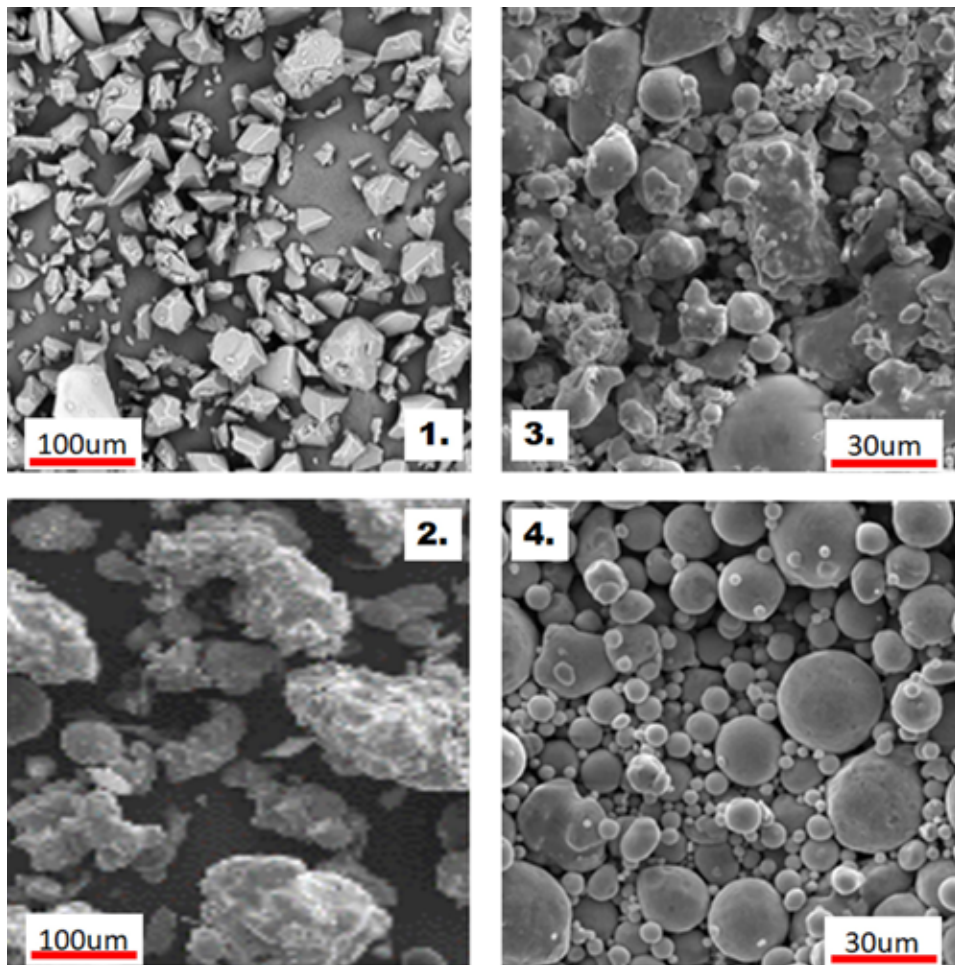


圖 4：幾種粉末的特徵。1. 是多角狀如硬質合金，採用破碎研磨後有銳利的邊角，必須利用較多的潤滑劑和黏結劑包覆粉末，才能進行成型；2. 是水霧化的鐵粉用於傳統粉末冶金壓製上；3. 是水氣聯合霧化法製作的不鏽鋼粉末，已經是有略為圓球狀並混合有長條米粒狀的粉末，以及一部分的細粉，這非常適合給 MIM 使用；4. 是氣霧化法不鏽鋼粉末多用在金屬增材製造上的粉床熔融法上



金屬	PM	MIM	MAM
鐵與低碳合金 Fe-low steel	可	可	不適當
低碳不鏽鋼 Low C-SUS	可	可	可
中高碳不鏽鋼 M/H C SUS	不適當	可	可
銅與銅基合金 Cu and alloy	可	可	不適當 (黏結劑噴射法可)
鈷與鈷基合金 Co and alloy	不適當	可	可
鎳與鎳基合金 Ni and alloy	不適當	可	可
鈦與鈦基合金 Ti and alloy	少量	TA1/2, TC4	TA1/2, TC4
鋁與鋁基合金 Al and alloy	少量特殊牌號	少量特殊牌號	少量特殊牌號
鎢與鎢基合金 W and alloy	少量	W-Ni, W-Ni-Cu, W-Ni-Fe, W-Ni-Co	不適合 (黏結劑噴射法可)
硬質合金 Hard Metal	WC	WC, TiC, M2, SKD11	不適合 (黏結劑噴射法可)

表 2：三大金屬成型技術能夠製作的金屬材料



兩岸最大的東睦粉末冶金工廠鳥瞰圖

## 壓製與燒結 (PM - Press and Sinter)

■耀德講堂 / 邱耀弘 博士

### 前言

粉末壓製與燒結法是一個非常古老的技術，最早在古埃及就發現氧化鐵燒製的金屬製品（紀元前 3000 年），但是要談到大量製造還是在 19 世紀初的 50 年代開始，美國的愛迪生發明電燈促使了粉末冶金應用到現代工業上——鎢燈絲的製作，已經是 20 世紀之初（1909 年），隨後鐵與銅金屬的粉末壓製與燒結便隨工業革命的帶動迅速取代傳統金屬加工的方法，尤其是在鑄造和鍛造的齒輪件。粉末壓製與燒結法的工藝流程如圖 1 所表示。

其中，主力成形設備是僅能進行上下閉合運動的壓機。這是一個近乎標準程式的流程，已經有超過百年的歷史，更進步模具的設計和模架機構使 PM 製品越來越精密且複雜，為了加工更加複雜的粉末冶金製品已經開發的模架系統目前已經到達三上（模）、五下（模）的系統，甚至有橫向同步氣缸協助部分特殊特徵的成形，製品被廣泛地用在動力傳動系統上，包含

各種交通工具與機械上。

### 工藝步驟

圖 2 是一個基本的粉末壓製模具與粉末材料、生坯相互的關係圖，這是坊間較為簡易的設備和外型簡單的產品，粉末材料藉由重力落到送粉器上，然後填充到模具的模穴中（模具是固定在模架上），然後上下模頭同時壓縮獲得生坯，並藉由下模頭繼續上抵把生坯頂出，並在下一循環的送粉器送粉同時推走生坯。

隨著生坯的複雜度增加（有不同階梯、孔位、造型特徵等），模具與模架更趨於複雜，設備的噸位和高度也逐漸增加，這可不是一層樓（3 米）可以解決的，必須挖出地下坑洞並建立工作的平臺，如圖 3 複雜的粉末冶金壓製用模架，大噸位的壓機。對於粉末壓製技術而言，最重要莫過於壓製後生坯的粉末密度分佈之均勻性，而且金屬粉末必須是相互有機械冶金鍵結的結合，特徵清晰且不發生裂痕，這便要在材料粉末、



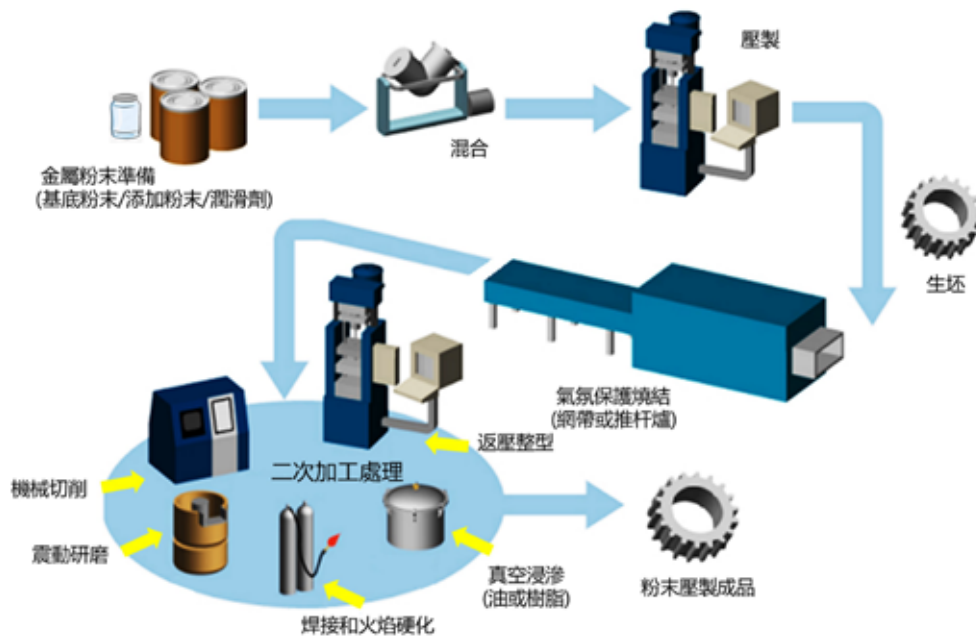


圖 1：傳統粉末冶金製與燒結法的工藝流程圖

產品外型、模具、模架和壓機五個重要因素的設計調和，並非容易的事，目前全球頂尖的設備與產品製造商仍屬歐美日公司，我們華人仍舊需要更努力。

壓製後的粉末生坯僅需要很低的燒結溫度，便可以固化並具有一定強度，壓製後處理包含：

- 不需燒結，直接應用，如一體電感的軟磁粉外層；
- 不需燒結，先二次加工，包含鑽孔與外型修正，或是預燒結到 0.7Tm（材料熔點），再予以加工後燒結；
- 使用網帶爐燒製 820-980°C 的銅基產品、1120°C 的鐵基產品；推舟爐或稱推桿爐可以燒到 1300°C 的不鏽鋼製品；批次爐是可以根據材料需求燒結到不同溫度，例如石墨真空批次爐對硬質碳化物合金的燒製高達 1480°C；
- 燒結後還需要很多的各式金屬表面處理、硬化處理甚至包含封孔與裝飾，以及自潤軸承的浸潤油處理等。

## 工廠所在地分佈

兩岸的粉末冶金製品最大的公司都與日本公司有合作的淵源，其中寧波東睦新材料有限公司擁有兩岸最大的粉末冶金製品工廠，合作的日本公司是睦特殊金屬；台灣最大的粉末冶金製品工廠是保來得股份有限公司，合作的日本公司也就是日本保來得，加上大陸揚州保來得工廠的規模緊跟在寧波東睦之後，兩大公司都算是國際上知名的粉末冶金製品公司。表 1 列出兩岸在國際上知名的粉末冶金製品廠，提供讀者參考，實際上中國國內的粉末冶金製品廠相當的多，許多工廠甚至只有數台壓機與一部燒結爐也加入生產粉末冶金製品的行列，難以全面統計。有個有趣的現象，大部分 PM 公司都有 MIM 製品的製造能力和產線。

在大中華地區粉末冶金工廠的集中效應很明顯，幾個特別的區塊分別是：

- 浙江省寧波市及其周邊城市如義烏市、金華市和武義縣、永康市與橫店市等；
- 江蘇省的南通市、揚州市與無錫市，沿著長江一路

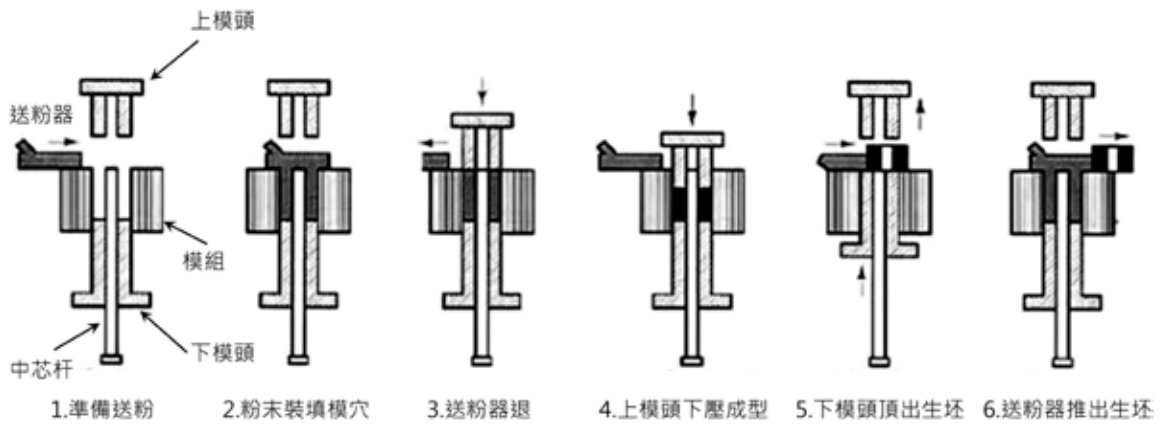


圖 2：一個最基本的粉末壓製模具與粉末材料、生坯相互的關係圖

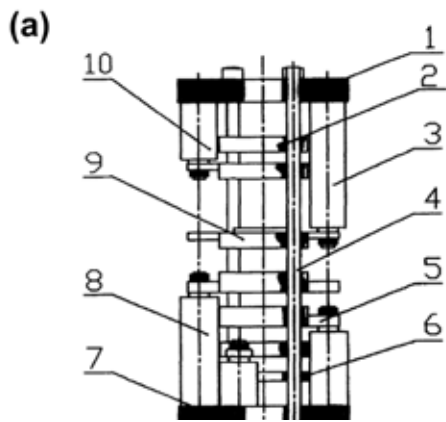


圖 3：(a) 極為複雜的粉末冶金壓製用模架，以提供更多的產品特徵（圖片來自華南理工大學專利說明書 CN1238139C）；(b) 寧波東木工廠內一部大型的粉末冶金壓機，地下高度和地面高度是一樣的，可以製作非常大的粉末冶金製品（圖片由寧波東睦提供）

到南京市與安徽省；

- 廣東省珠三角的廣州市、中山市、江門市，大多與小型家電有關；
- 四川省與重慶市，西部的軍工與汽車重鎮；
- 臺灣省的桃園市、新竹縣市與苗栗縣。

## 產品應用

粉末冶金的產品應用實在是不勝枚舉，這些可以在網路上輕易地查到，如圖 4，Dr. Q 僅舉一些常見的例子加以說明：

- **齒輪與傳動元件**——具有重複性的特徵並大多是

等軸輪狀元件，包含各種正齒輪與部分斜齒輪、鍊輪與棘輪等等，齒輪模數大於 1mm 且外徑大於 5mm 的特徵。這是粉末冶金製品最大宗；

- **各種機械臂、連桿、聯軸器**——廣泛用在工具與機械的各種小零件，尤其油驅動汽車在發動機和變速箱內的機構零件；
- **家電用磁性與軟磁元件、配件**——在冰箱、空調壓縮機上的磁性環件、廚房用的絞肉刀、廚具配件等等；
- **各種電動工具與木工機械配件和刀具**——用於手持工具上最多，包含電工、木工、泥水工等等的各種



公司名稱	所在位置	主力產品	MIM工廠
寧波東睦新材料有限公司 (8家母/子公司)	浙江省寧波市 中國各地	汽車、船舶零配件、氣動工具	有/上海富馳高科
揚州保來得科技實業有限公司 保來得有限公司	江蘇省揚州市 臺灣省新竹縣	汽車零件、電池極版	有/內部部門
海安鷹球集團有限公司	江蘇省南通市	自潤軸承	有/內部部門
重慶華孚工業股份有限公司	重慶市	自潤軸承	規劃中
揚州海昌新材股份有限公司	江蘇省揚州市	汽車零被鍵	有/內部部門
中山耀威粉末組件有限公司 (臺灣慶連集團控股)	廣東省中山市	汽車零配件、氣動工具	有/內部部門
江門宏佳新材料科技有限公司	廣東省江門市	壓縮機組件、磁環	規劃中準備
廣州市光銘金屬製品有限公司	廣東省南沙市	廚房絞肉機、家電配件	有/內部部門
佛山盈峰新材料有限公司 (美的的子公司)	廣東省佛山市	家電製品	有/深圳密姆科技
青志金屬工業股份有限公司 青志無錫粉末鑄鍛有限公司	臺灣省苗栗縣 江蘇省無錫市	汽車、摩托車零部件、家電零件	無

表 1：兩岸粉末冶金知名大廠（規模較大，至少 5 條爐子）



圖 4：粉末冶金工藝製作的各種零配件

工具；

- **傳統與智能鎖具**——複雜的多孔重複特徵的鎖芯、連動機構；
- 磁性材料也是利用粉末冶金工藝製作如電感器、磁鐵等；
- 陶瓷材料和石墨等等，也能夠使用這樣的工作原理，來製作陶瓷元器件。

## 小結

粉末冶金技術起源於人類最早以手工泥塑製品的概念，並在發現金屬能夠製作成粉末後並可再以淨形加工的方式，集合了三大概念之大成，凡是能夠粉末化的金屬材料皆能應用粉末冶金的技術來成形出製品，廣泛的應用造福人類，同時新的工廠管理觀念和設備日新月異的改進，現代化的粉末冶金製品都開始自動化的製造製品，全球最大的製品號銷售額都在咱家附近，各位讀者有機會要多多瞭解喔！■



兩岸最大的MIM廠精研科技工廠鳥瞰圖

## 金屬粉末射出成型 (MIM)

■耀德講堂 / 趙育德 講師

### 前言

在 1997-1999 於台北工專材料資源科五專部（現為台北科技大學）首次碰到恩師 邱耀弘 博士（以下稱邱博），就注定了我與 MIM 結下不解之緣，在退伍後幸運的考入台灣工業技術學院（現為台灣科技大學）高分子學系就讀並順利取得碩士文憑，並在 2010 年在邱博的帶領下，我們從台北飛到杭州機場，旋即由當時公司（寧波成銘電子）接駁到寧波的北崙出口加工區，開啟了我的人生命運 (MIM) 的第一站，轉眼可數至今已 13 年。

記得當時 MIM 工藝仍舊採用美 / 日的蠟基系統為主的喂料技術，在業務上初步接觸的手機雙雄是大家耳熟能詳的芬蘭諾基亞 (NOKIA) 和美國摩托羅拉 (MOTOROLA)，都已經開始使用 MIM 件，因此我開始學習到如何和電子產品機構料的工程師溝通產品製造的問題。一直到了 2012 年成銘的 MIM 工廠搬遷南下到東莞長安（東莞成銘電子），目的是承接智慧型

手機大廠的訂單，雙雄已經變成加拿大黑莓 (BLACK BERRY) 機以及首次將成銘電子納入 AVL 的美國蘋果公司 (APPLE Inc.)，它們大量採用 MIM 製品作為智能手機的關鍵機構零組件。其實，早在我出生之前十年（1972 年），MIM 工藝便已經在美國申請了發明專利，申請者是美國 Parmar Tech. 公司（目前該公司仍存在），該發明講述以 MIM 工藝製作鈮合金作為火箭推進器的後燃氣噴嘴，由於材料耐高溫、質地硬且難以成型，以 MIM 工藝成功的完成大量製造的任務，在 2011 年起由於手機與智能手機的剛需，MIM 工藝才在誕生至少近 40 年才得以出頭天。

目前在網上已經有大量的資料說明 MIM 工藝的程序，不過我認為邱博修改的歐洲 EPMA 的流程圖更為清楚和傳神，如圖 1 所示。

其中，主力成型設備是 ACMT 協會和 ASM 雜誌經常提及的射出成型機（射出機、注塑機或稱啤機，早年



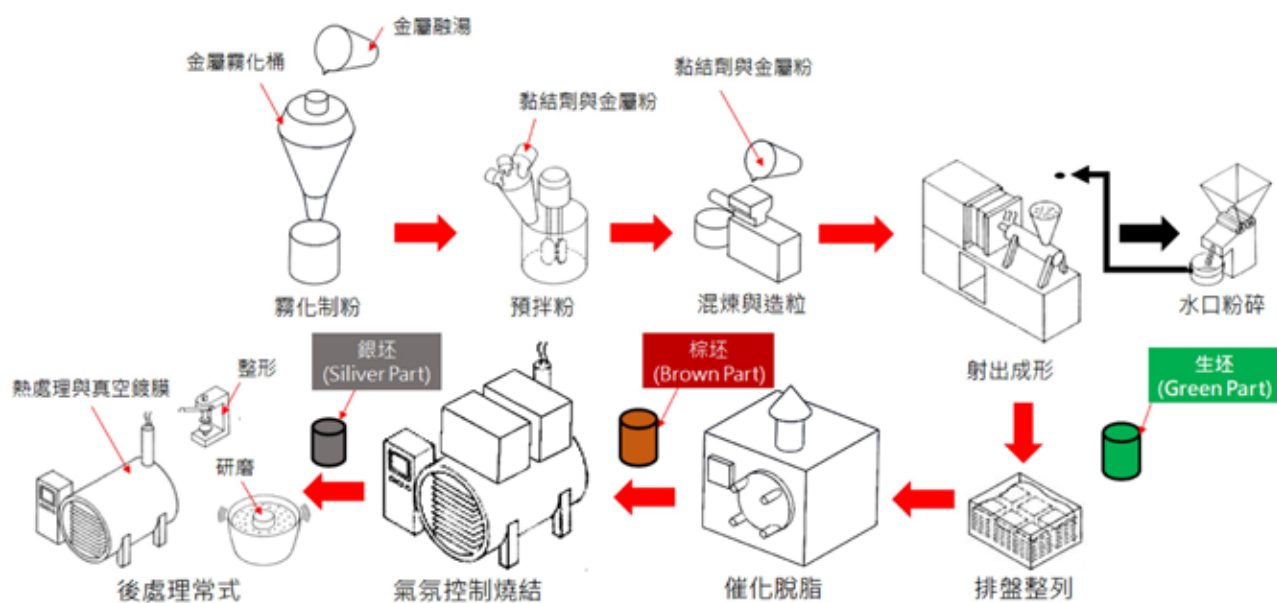


圖 1：由邱博士修改自 EPMA 的 MIM 工藝流程圖

廣東白話的稱呼)。雖然射出成型是在 1945 年二戰之後才開始大量的流行，但因為塑膠原料的進度使射出技術也日新月異的推進，而金屬射出成型自然是藉由射出技術所擴展的，因此了解金屬粉末、高分子聚合物的性質就變得非常重要，正好我在學生生涯的學習都派上用場。

## 兩個靈魂——喂料與模具

MIM 最重要的兩個靈魂在於喂料與模具，而靈魂的連接器就是射出成型機，這是近五年與邱博到處當顧問服務客戶所得到的重要說法，如下說明。

### 喂料 (Feedstock)

喂料是由金屬粉末（固體顆粒）與黏結劑（高分子聚合物），這是 MIM 工藝採用和塑膠射出工藝一樣的方式，利用砲筒的加熱以溫度改變高分子聚合物的相由固轉液的特性，且此時液相的黏結劑有足夠的黏度能夠攜帶金屬粉末固體均勻的流動並填充到模具的模穴中，來獲得設計過形狀的生坯，最終通過脫脂和燒結獲得金屬的零件。因此，金屬粉末的粒度分布、形狀

和面貌與黏結劑成分的比例設計有絕對的關係。

表 1 與表 2 顯示 MIM 的金屬粉末、黏結劑與喂料組成應該注意的參數和判斷機制，以確保獲得最終產品的品質控制。由於一般的 MIM 工廠不一定有這麼多的精密儀器，最好在採購物料時能夠要求供應商提供必要且即時性的報告（切勿使用過時的報告，批量間的差異會導致製程控制的不定性），並且自己廠內至少要有幾樣檢測儀器，才能確保 MIM 喂料的品質。

其中，熔融指數測定儀 (Melting Flow Index meter) 是一種很有效可以測量喂料（不論是新、舊或是多次射出的殘料）的有效工具，可以幫助我們把現有喂料的特性給檢驗出來。如圖 2 所表示，每個溫度點取三次平均值。

許多工程師會覺得這個測試很麻煩，因為 21.6Kg 的配重舉上舉下令人疲憊，等待喂料升溫又很久，重點在於觀察與判斷的能力缺乏，射出的師傅往往以

金屬粉末	
性能要求	參數與目的
粒度分布	針對粉末的顆粒分布 D10/50/90/97 · 體積占比和比表面積
光學顯微鏡(OM)	粉末的觀察與零件的顯微結構 (較低倍率 · 50~200微米放大倍率)
掃描式電子顯微鏡(SEM)	粉末幾何面貌、粒度觀察及零件與材料的顯微結構 (0.5~1000微米級放大倍率)
振實密度	粉末實體的堆積密度 (在一般堆積時情況)
真密度/比重瓶	利用氬氣進行測量粉末的實際密度與水的比重
氮、氧、碳、硫成分	有關間隙元素的分析 · 尤其是碳元素
EDXA定性分析	配合SEM觀察區域的元素分佈以作為輔助判斷
ICP定量分析	巨觀的成分分析
XRD相分析	巨觀的材料晶體相分析

表 1：MIM 的粉末的品質控制 (黃底為 MIM 工廠應有的儀器)

為塑膠材料的溫度越高、流動性越好，忽略了 MFI 測試已經告訴我們喂料的甜區溫度 (Sweet Zone Temperature)，過高溫且射速高導致生坯的壓力殘留高、射出噴流和粉膠分離 (黑痕、黑線)。這是幾年下來發現 MIM 工廠不重視喂料檢驗品質的數據，一旦射出的生坯有缺陷，往後的程序是無法挽回前面所犯的錯誤，燒結後的零件自然出現許多問題。

### 模具 (Tooling, Mold)

另一個靈魂則在於模具，更精確來說，是整套模具的溫度控制，模具的內腔與機構受到原始客戶設計圖的限制，很多地方都有無可避免的缺陷，因此在模具設計的時候一定要能夠注意到排氣與水路排佈，在 ACMT 理事長 蔡銘宏 先生的課程提到模具有命運風水之說，即產品的厚度 (模具的命)、模內結構的排佈與進膠點位置 (模具的運)，再加上排氣 (模具的風) 及水路設計 (模具的水)，特別是 MIM 喂料在多種高分子聚合物與潤滑劑等的混合物中是含有大量的金屬粉末 (體積佔比 >50% 以上)，MIM 產品往往又設計出不等肉厚的特徵甚至是非常厚 (> 傳統塑膠厚度 1.5mm)，模具的溫度平衡與控制就不是容易的事情。

因此，MIM 生坯要能射出得好，恐怕模具的排氣和水路需要下功夫，模溫機甚至不會僅有一部 (在過去的經驗是以多部模溫機來協助粉膠分離的消除)，請讀者注意，MIM 喂料和高分子聚合物比較起來，含有金屬粉末導熱快，因此冷卻快會導致喂料快速硬化，自然就無法好好的填充，因此如何控制模具中喂料的溫度，水路設計便非常重要。

### 第三個靈魂——短射觀察

注意，所有射出成型的短射觀察不是以百分比，而是要以幾何斷面的形狀來進行射出短射，根據短射的結果才能調整多段射出的參數設定包含射出速度、計量位置，如圖 3 在耀德的客戶端配合課程的訓練進行短射，尤其是針對產品具有變化很大的截面，一定要進行短射分析，並且觀察粉膠分離出現的位置在哪？氣泡與內部缺陷出現的位置？工程師要注意觀察並切開生坯分析。

### MIM 工廠位置

有趣的是在疫情肆虐的這三年中，兩岸 20 大工廠也悄悄的發生一些變化，排名差異不大但每家公司有計畫性的擴編到不同城市，台資廠也投資大陸第二工



黏結劑	
性能要求	參數與目的
熱重分析(TGA)	黏結劑與喂料在溫度升高過程的重量損失現象觀察
示差熱掃描(DSC)	黏結劑與喂料在溫度升高過程的重量損失現象觀察
軟化點分析儀	測量高分子聚合物的軟化點
喂料	
性能要求	參數與目的
流變儀	測量喂料的流變特性 (物料高級分析)
熔融指數測定儀(MFI)	測量喂料的熔融指數 (生產線快捷使用)

表 2：黏結劑與喂料的品質控制（黃底為 MIM 工廠應有的儀器）

廠，主要是客戶的要求必須多地投產，以降低成本並符合及時交貨的條件，因此珠三角和長三角都向外延伸，包含福建的廈門、湖南長沙和安徽的滁州，都是為了將來更大的投入而準備。請見表 3 所述。

## 產品應用

金屬粉末射出成型的應用開始有了重大的變更，今年邱博在 ASM 雜誌所推出一系列的 MIM 新產品文章，都已經充分的說明電子 3C 產業不景氣的狀態下，MIM 產業自尋出路並斬獲不少好訂單，包含如下：

- 筆記本電腦轉軸開始變化到摺疊屏智能手機轉軸；
- 縫紉機配件大量改用 MIM 工藝，棄用傳統沖壓與精密鑄造、壓鑄工藝；
- 廣東省陽江市的菜刀與指甲刀出貨量驚人；
- 3C 產品的 EMS 場使用 MIM 治具與夾具，第三世界用起 MIM 醫療器械與工具；
- 高端品牌包與皮具使用 MIM 製作精品扣件與標牌（圖 4）；
- 美國高爾夫球桿頭配件也開始用 MIM 工藝製作（圖 4）；
- 小模數小齒輪開始利用 MIM 工藝。

## 小結

金屬粉末射出成型最少改變了我個人，把我再推向另一個需要粉末成型技術的技術——金屬積層製造，然而我所擁有的知識卻都是來自 MIM，各位讀者一定仔細理解粉末技術的重要性，這是恩師邱博在 2010 年領我進到粉末技術世界一再叮嚀我並要求我的事情，沒想到在 2019 年開始當顧問進行巡迴授課時，我也開始和各公司的夥伴們說起和邱博同樣的話。學海無垠、唯勤是岸，正如我最喜歡從事的工作——金屬粉末射出成型工藝教學，早出、晚歸並與各位同在生產線上、混料機、射出機、脫脂爐和燒結爐的旁邊，感受 MIM 給我生命的力量。■

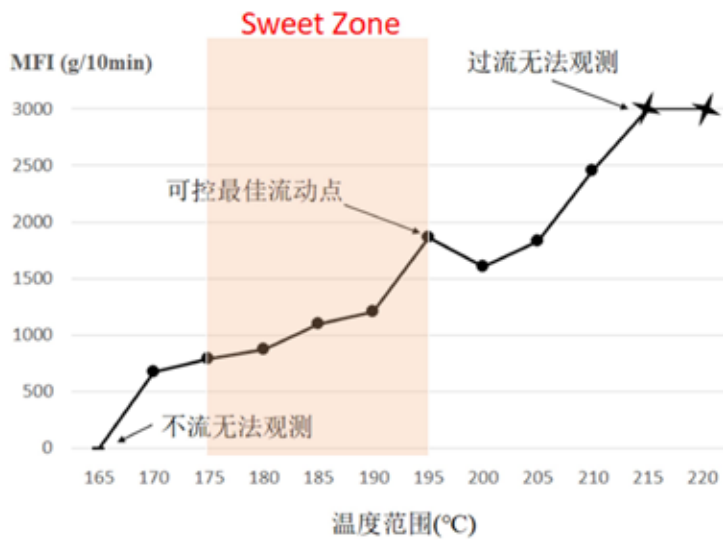


圖 2：典型的 MFI 測試的圖形



圖 3：MIM 射出成型過程的短射觀察——必須根據截面積變化來進行



圖 4：高端品牌包與高爾夫球具也都開始用到 MIM 製品



廠家名稱	所在省市	燒結能力推算 (公升/日)	產品類	APPLE AVL
精研科技	江蘇常州/東莞長安	50,000	3C/手機	是
富馳高科	上海寶山/江蘇連雲港/東莞東城	25,000	3C/手機	是
中南創發	廣東廣州番禺	18,000	3C/表	是
銘赫科技(安費諾)	浙江杭州下沙/雲南曲靜	16,000	3C/手機	是
中耀科技(舜宇)	江蘇吳江/安徽滁州	16,000	3C/手機	是
全億大科技	廣東廣州佛山	15,000	3C/手機	是
通達精密	福建廈門海滄	15,000	3C/配重塊	是
智見/象限科技	浙江寧波	10,000	3C/配重塊	是
啟祥電子/駿派科技	江蘇宿遷	10,000	3C/配重塊	是
鑫迪科技	廣東惠州	6,800	3C/配件	是
范海統聯	深圳觀瀾/湖南長沙	6,500	3C/配件	是
艾利佳科技	深圳光明/東莞清溪	7,000	3C	否
艾利門特(信維)	深圳沙井	7,000	3C	否
精科科技(轉軸)	浙江嘉興	6,500	3C/筆電	否
道益精密(新加坡)	安徽滁州	5,000	車用零件	否
福立旺機電(彈簧)	江蘇昆山千燈	6,000	3C/耳機	是
新日興	臺灣新北市樹林/江蘇甯直	9,000	3C/筆電	是
兆利科技	臺灣新北市五股/江蘇甯直	5,000	3C/筆電	是
鑫禾科技	臺灣新北市汐止/昆山萬禾	4,000	3C/筆電	是
鉦耀精工(台耀改組)	臺灣省桃園市	2,500	五金製品	否

PS.唯一台灣晟銘電子/東莞成銘已經停止MIM的業務並出售部分設備

表 3：兩岸綜合 20 大 MIM 工廠

## 雷射驅使金屬增材製造大步前進



# 金屬積層製造 (MAM)

■耀德講堂 / 趙育德 講師

**金屬積層製造 (Metal Additive Manufacturing, MAM) 在中國大陸又稱為金屬增材製造。**

### 前言

更有趣的人生緣分仍舊持續著，2019 年就在與邱博合作輔導廈門通達精密進入 APPLE 的 MIM 供應鏈的同時，邱博嚴肅地要求我回到母校——台灣科技大學攻讀博士班，於是在通過面試後開始當大齡學生，而邱博當年念書的幾位教授都還在任，並且成為鄭正元教授的博士班研究生（邱博當年也曾受過他的指導），藉由我在 MIM 近十年的經驗，開始了金屬積層製造工藝的學習。重新當學生有點辛苦，但是卻體會到當年學士與碩士學程的缺乏認真的態度，加上每位指導教授都曾經是邱博當年就讀時的原班人馬，這輩子讀書最認真的時候便是從 2019 年至今，辛苦但值得，因為我所接觸的技術是未來 50 年有可能替代傳統金屬加工的先進技術。

金屬積層製造發展其實比較晚，在紙張疊層、光敏樹

脂和塑膠原料之後，甚至都比陶瓷材料要晚，人類老祖宗很早就會以磚頭蓋房子、泥塑陶瓷餐具，但真正的起源應是在 1960 年代美國的等高線地圖使用紙張堆疊已經開始看到採用二維圖形堆疊的概念，然後在 1981 年，日本名古屋市工業研究所的小玉秀男先生發明了兩種利用光硬化聚合物的積層製造三維塑膠模型的方法，其紫外線照射面積由掩模圖形或掃描光纖發射機控制，這是名義上第一步 3D 列印設備，但當時尚未提出積層製造一詞。之後在 1984 年，美國三維系統公司的查克·赫爾 (Chuck Hull) 發明了立體光刻，用紫外雷射固化高分子光聚合物，將原材料層疊起來，他稱這一程式可以「通過建立列印目標物體每部分之間的聯絡來列印三維物體」，但該程式已由小玉秀男先生發明在先，不過查克先生的貢獻是設計了 STL (立體光刻) 檔案格式，該檔案格式被廣泛應用於現代 3D 列印軟體和電子切片與填充，即便到了今天也還是很實用。



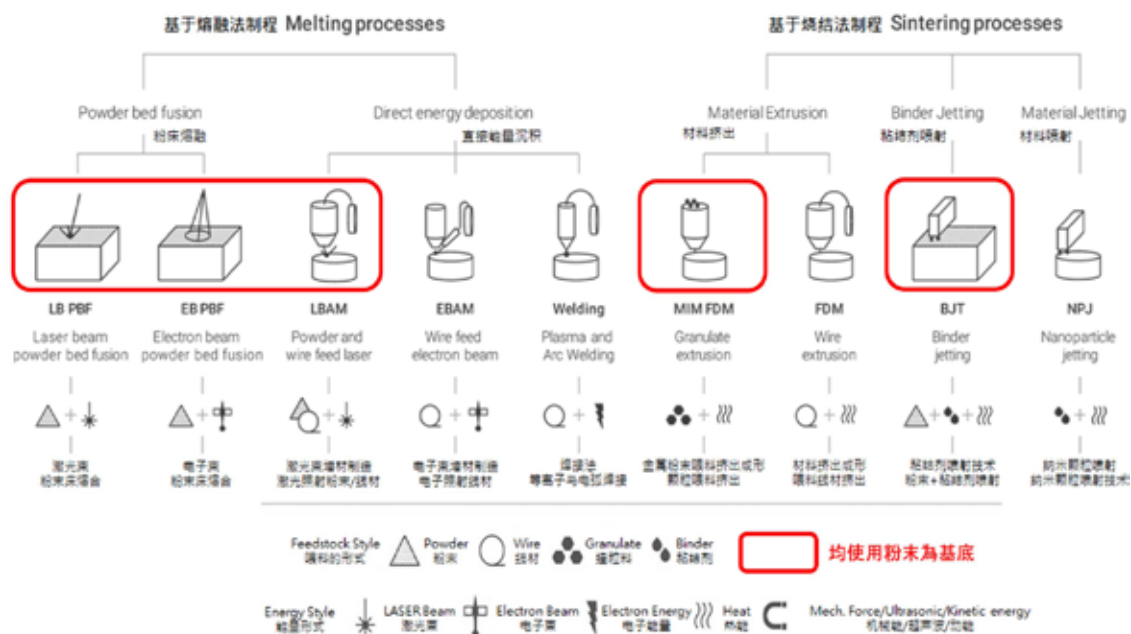


圖 1：由邱博士修改自 SLM Solution 公司有關金屬積層製造的方法分類

以 3D 列印（大陸稱為打印）這個術語最早是指使用標準的傳統噴墨列印機噴頭的流程，到現在為止，大部分 3D 列印機，特別是 3D 列印愛好者使用的和針對消費者設計的 3D 列印機，使用的大都是採用材料熔融擠出建模法（MEX，這名詞比 FDM 更高階，主要 FDM 是美國公司的商業名詞已經被登記，ASTM F42 在 1990 年重新定義 Material Extrusion, MEX 為標準）。

針對金屬熔融或燒結法（例如選擇性雷射燒結 SLS、直接金屬雷射燒結 DLSS 和雷射選區熔融法 SLM 等）的積層製造法，只是在 20 世紀 80 年代和 90 年代通常採用不同的名稱。儘管大量自動化技術當時已經被運用到幾乎所有金屬加工產品都需要經過減法精修的工藝（包含澆鑄、衝壓、焊接、機械加工等），作業程序中以電腦數值控制技術 (CNC) 的應用，可以只用一把工具 / 刀具或一個噴頭就可以完成把原材料或是生坯做到成品全過程的想法，這還是只能讓大多數人聯想到金屬切削（減法加工而不是積層加工）的過程，

例如數控銑削、數控放電加工和其他工藝程序。因此積層製造的出現是以粉末的燒結來挑戰這些傳統減法加工。更有趣的，粉末製程的概念卻是老祖宗的智慧——「聚沙成塔」，不同的是由傳統液相變成固相，改變成由固相（粉末）變成液相（熔融或燒結）再固化。

### 技術分野

最終於這幾年如圖 1 歸納出兩大金屬積層製造的主要方式，在固化積層製造後的粉末坯體上來區分，以基於熔融法和基於燒結法兩大類型，在原有七大分類中，熔融法包含粉床熔結 (PBF) 和直接能量沉積 (DED)；燒結法則包含材料擠出 (MEX)、黏結劑噴射 (BJT) 與材料噴射 (MJT) 三類。

### 兩個靈魂——能量源與原料形狀

MAM 也有最重要的兩個靈魂，就是在於能量源與原料形狀，而靈魂的連接器就是積層製造用的列印設備，這是在學校四年攻讀博士學程所得到的重要說法，

能量源	溫度	粉末粒徑範圍(μm)	最小層解析厚度(μm)
電弧(Arc)	> 金屬熔點	53-150	75-300
電子束(EB)	> 金屬熔點	45-110	50-75
雷射束(LB)高功率	> 金屬熔點	15-55	20-50
雷射束(LB)低功率*	> 金屬熔點	0.1-15	10-20
紅外線(IR)	< 200°C ( 僅烤乾膠水 )	10-35	15-20

\* 江蘇省太倉有一家云耀深維(Aixawy)目前可以打印的層解析最小可達10μm，採用德國弗朗霍夫激光研究所(Fraunhofer ILT)最先進的微小雷射束模組，配合細小的粉末可以打印出類似MIM表面等級(Ra 0.8-1μm)

**表 1：能量源與原料對於 MAM 加工特性的相互關係**

如下說明。

### 能量源

在 MAM 工藝能量源包含兩種，第一種是定義形貌並兼具固化材料，這樣的加工效率會比較低，但是其好處是積層製造程序一結束後可立即取出產品，在圖 1 中的熔融法便是如此，此種能量源包含雷射、電子束、電弧等，都是屬於高能量能夠直接把金屬熔化成熔池，控制熔池的大小、溫度以及行進的速度，將原料給熔融後形成焊接的概念，最後冷卻後可以得到固化的邊界和實體，逐道逐層的完成 3D 列印的結果使積層製造完成。不過可想而知，能量源要兼具定義形貌與固化材料的加工效率不可能過快，也避免使用過高的能量，因此根據不同層解析度和表面粗糙度的設計，原料粉末或是絲條必須控制其外徑大小，以確保能量源可以同時完成定義形貌和固化材料的工序。這樣的作法適合單一次打印一個零件，且由於高能量因此每一次只打一個零件，很少堆疊在一起以防止散熱不良造成產品的扭曲。

第二種能量源是把定義形貌和固化材料分開，因此可以利用較為低功率的能量源先第一步的進行產品形狀

的定義，然後當定義形狀整體生坯完成，再一次性的把打印的生坯轉移到無差別的高溫能量源進行產品固化獲得最終產品，這便是圖 1 的燒結法的積層製造，低溫成型、高溫固化，這樣的加工效率很高，由於熱量較低使產品生坯不變形，可以進行疊層生產，原料可以選擇較細緻的粉末來提高表面粗糙度以及減低層狀分界的尺寸，精度高並且可以量產化的製作零件。表 1 用來比較兩種能量源的加工特性與其應用場景。

更新的技術推進在台灣科技大學機械工程技術系我所就讀的光電實驗室，鄭正元教授正帶領團隊進行金屬積層製造邁向高速 3D 列印的研究，由鄭教授推廣的低溫定義產品型貌、高溫無差別固化的最終方案，使用較低功率的雷射陣列將會提供給高速打印的能量源，這也會促進金屬積層製造的產品量產數量上的快速提升。

### 原料形狀

在前面第 1 篇邱博寫的金屬粉末原料和表 1 內所示的都提到，關於粉末成型最重要的關鍵是粉體的參數，尤其是比較新進的研究發現很有趣的事情。目前金屬積層製造主力還是以粉床雷射束融合或是粉床黏結劑



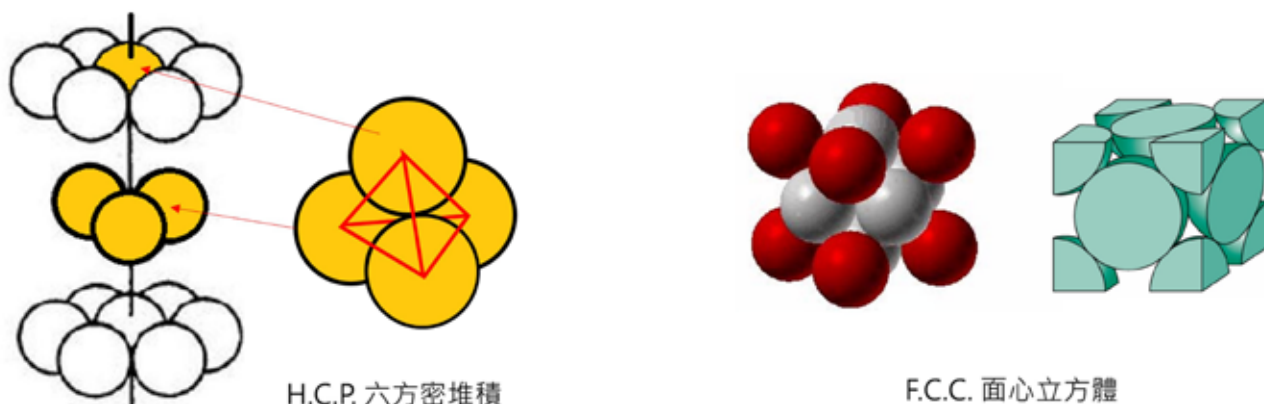


圖 2：圓球形粉末的難題在於如何塞到最密堆積，粉末該如何級配？

噴射為主，以金屬絲材和 MIM 喂料絲基本上因表面粗糙且層解析度高大而逐漸淡出市場，畢竟金屬零件要求是精細且具有較高的強度，同時對於積層製造後的產品要求密度高、內部甚至研磨表面（鏡面模具零件）不能有孔洞，因此衍生了一個有趣的課題，什麼是最好的粉末形狀？

從粉末科學中的數學推論似乎可以判斷，等徑球體的堆積最高堆積密度僅為 74.1%（有 25.9% 的孔隙），如圖 2 中的面心立方 (Face Center Cubic, FCC) 或是六方密 (Hexagonal Close Packed, HCP)，那很多人都說只要進行粉末級配把小顆粒塞進球體間隙不就好了？可是經過計算，要塞入圓球間隙中的粉末如果也是圓球，那麼大小球體比例是差距很大，這樣在實際製粉的過程是難以調配出來的。

那麼如果粉末型不是圓的？那有沒有可能堆積就超過 74.1%？這個難題在 2007 年美國粉末冶金技術大師 R.M. German 教授已經幫我們解開這個問題，如圖 4-3 所表示，經過電腦數值的分析與演算，在 MIM 喂料中的粉末形狀以果殼仁狀可獲得最佳堆積密度 >80%，在實際的世界中，米粒的形狀就很接近。粉末受到加

工應力流的推擠使得粉末有取向，最大與長軸軸會順著應力流動方向，這樣就能有效地使堆積更為緊密，就像我們小時候買米在裝滿量杯時，會故意去敲擊、震動使米粒的長軸豎起，以便堆更多米粒，對吧？

那麼在 3D 列印的鋪粉過程，是不是有相同的趨勢？至少我們已經知道球型粉末不會是最佳的，那麼鱗片狀或是扁平狀會不會好呢？雖然目前沒有很明確的答案，但我們已經有新的思路了，對吧？

### 金屬積層製造的趨勢

在和鄭教授、邱博以及在兩岸粉末成型前輩們的討論與指導下，我歸納出一些未來 MAM 的發展趨勢：

- 層解析度要求的尺寸越來越小、表面粗糙度越來越好。圖 4 是目前市面上透過 MAM 技術列印出的記憶合金材料心臟支架，從圖中可以發現每一根絲都是空心的架構；
- 熔融法必須直接成型並且能夠看到實體，後加工越少越好；
- 燒結法適合小型零件 (<50g) 高速 3D 列，且要符合小批量生產需求（至少每批 1000 件），列印生坯與脫脂、燒結在 48 小時內完成；



圖 3：電腦數值計算粉末成型用的粉末其最佳外型類似米粒

- 大型零件的 MAM 已經是大陸設備的天下，組合機加工可以部分取代鑄造與焊接等零件製程；
- 以金屬積層製造鋼製模具，包含用於塑膠零件成型、橡膠鞋底與器具，甚至是 MIM 射出用的模具、已經大幅成長且取代原有模具僅用減法加工製造的模式；
- 金屬積層製造的設備和材料粉末已經普及且在大陸製造，勢必帶動更低價的優勢使金屬積層製造擴大應用的領域。

## 小結

從金屬粉末射出成型出發到金屬積層製造，不僅只改變我個人的加工知識，金屬積層製造已經不會再只是列印玩具與公仔擺件，那只會使工業進步後退，我們應該要思考金屬積層製造的出路，我個人相信模具應該是金屬積層製造最有潛力的道路，並且期待燒結法的金屬積層製造能夠部分取代現有的鑄造、壓鑄以及我的摯愛金屬粉末射出成型零件，反正粉末成型的基本知識都可以配合用上，各位讀者，歡迎您一起進入金屬積層製造的行列。■

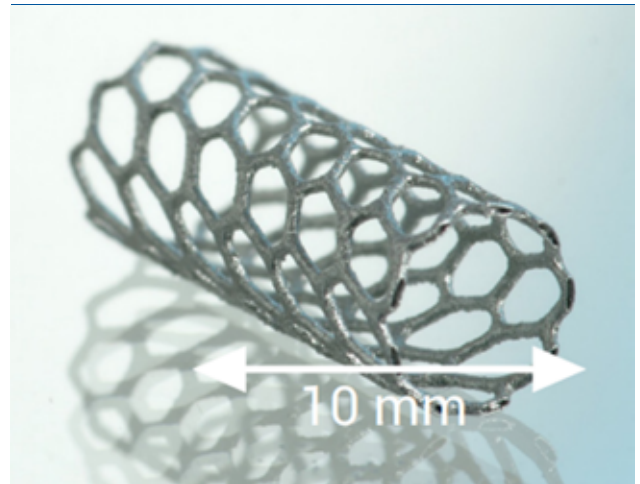


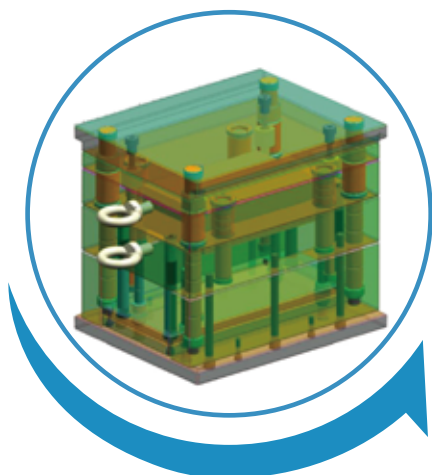
圖 4：Aixway 以 SLM-PBF 列印出微小的中空架構心臟支架（結構每一根都是空心，圖片由江蘇云耀深維科技提供）



# 模具「T零量產」，實現智慧工廠

整合智慧設計、模流分析、科學試模、三合一工程師、材料量測和機台性能監測等，實現模具T零量產和成型高質量生產的終極目標。

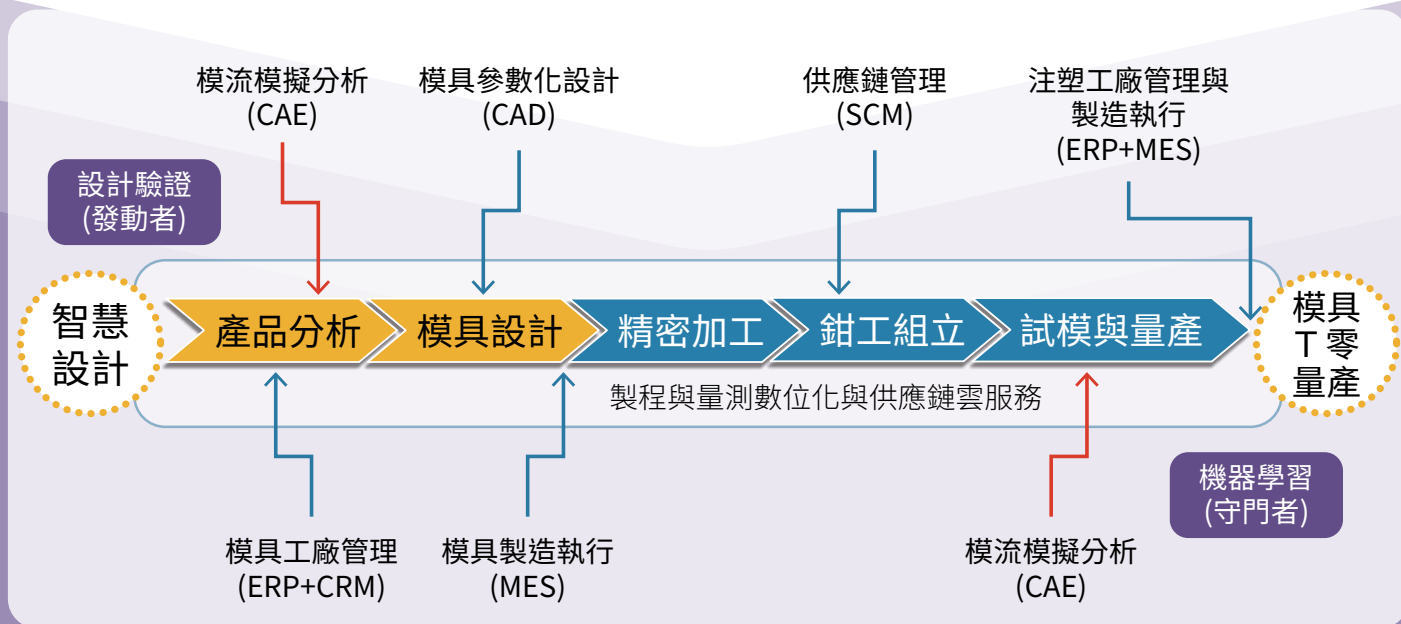
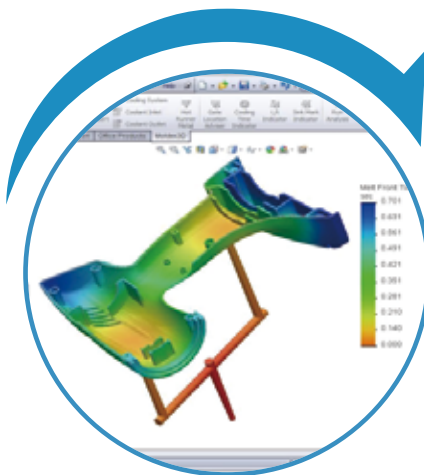
模具設計



科學試模



模流分析



型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名



型創科技顧問股份有限公司  
MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達

規劃中據點

台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南

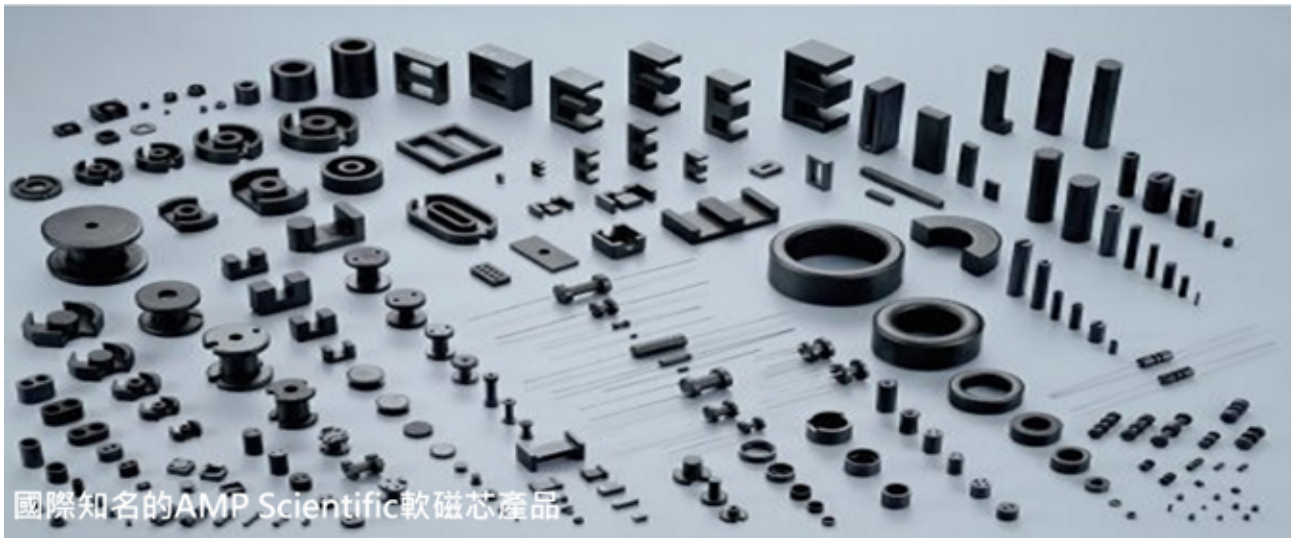
+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/tzom

廣告編號 2023-10-A05





國際知名的AMP Scientific軟磁芯產品

## 軟磁複合材料 (SMC)

■耀德講堂 / 邱耀弘 博士

### 前言

本文參考日本微射出成型株式會社 (Micro MIM Japan,  $\mu$ -MIM<sup>®</sup>) 的網上資料，包含圖形以及部分內容的翻譯。和硬磁（即永久磁石，含天然與人造）材料有很大的區別，所謂的軟磁性材料是其具備低磁性且具有高導磁率的材料。儘管這些材料暴露在外加強磁場時會變得具有強的磁化，但在該外加磁場去除之後能夠恢復沒有磁性（消除磁力）導致它們是特別有價值，因為電磁共生的效應，我們控制電流發生磁場，便可達到關閉與開啟磁場，這在電子電路版上有非常多的應用場景。軟磁材料的零件已用於家用電器、電腦相關辦公設備、通用工業設備，如氣動設備、機動車燃油噴射裝置中的電磁閥、電磁閥芯、噴油器芯、柱塞和扭矩感測器芯以及各種感測器。在軟磁零件對高精度或複雜形狀的頻繁需求中，當前的方法涉及使用切割和粉末冶金方法製造，但也帶來了許多問題。作為回應，日本的  $\mu$ -MIM<sup>®</sup> 公司其技術引領了製造研究工作，作為研究 MIM 如何應用於磁性零件的工作的一部分

（2008 年：METI，戰略性基礎技術改進支援運營；2011 年全面採用並商業化）。

在前面 Dr. Q 和趙碩士已經很詳細的介紹 MIM 工藝，通過 MIM 工藝可以優化金屬零件小型化、處理複雜形狀、大批量生產以及提高材料產量的方式。此外，日本  $\mu$ -MIM<sup>®</sup> 公司擁有其  $\mu$ -MIM<sup>®</sup> 技術可以應用於製造近淨形、高精度的軟磁零件。如圖 1 所示，這些包含金屬與金屬氧化物所製作的小型軟磁零件，被廣泛用在前述的應用場景中。

### MIM 的工藝優勢

使用 MIM 工藝最重要的是這種方法為無磁干擾的生產鋪平了道路，消除了薄壁形狀或軸的變形風險，過去的工藝對於這些薄壁的形狀在消磁退火過程中容易變形。我們的生產範圍包括鐵素體不鏽鋼、Fe-3Si 和坡莫合金。此外，與傳統機加工相比（取決於所涉及的形狀和數量），可以大幅降低每件產品的成本。



圖 1：日本日本微射出成型株式會社 (Micro MIM Japan,  $\mu$ -MIM<sup>®</sup>) 的軟磁零件產品，包含許多的金屬與非金屬的材質

- 適合幾何形狀複雜的設計（優越的設計自由度），對於電子被動元件有很大的彈性；
- 高尺寸精度，成型與脫脂燒結後不容易變形，消除傳統粉末乾壓 (PM) 的密度不均勻問題；
- 快速驗證並可短時間大量生產，射出成型機比粉末壓機容易控制。

軟磁材料在壓製法與粉末注射成型的工藝區別如表 1 所表示。在未來微性化軟磁元件的激增下，MIM 工藝的優勢是非常明顯的。對於磁感值越精確，軟磁元件的用量可減少且將低電路板重量和發熱量。

### MIM 工藝在材料選擇的優勢

MIM 工藝可以選擇很多種的材料作為磁性功能的應用，有關軟磁材料性質描述，對於 MIM 從業人員最熟悉莫過於不鏽鋼 17-4PH (201 與之接近) 與 316L (304L 與之接近)，這兩牌號不鏽鋼通常普遍的用於 MIM 產業，Dr. Q 也列出給讀者參考。建議使用他們來做為軟磁性應用時要考慮電磁特性，可能是電磁波遮罩使用的好材料。以下三個材料的性質表請參考表 2、3 及 4。

#### SUS 410/430 / 不鏽鋼 410/430

鐵素體形成元素（如 Cr、Mo 和 Si）的適當配置意味

著，即使鐵素體經過熱處理，甚至在高溫下磁性也會保留。該材料具有良好的可焊性、比奧氏體不鏽鋼有更小的熱膨脹係數以及對含硫氣體有優異的耐高溫腐蝕性。該材料適用於高達 800° C 的高溫零件和化工設備。

#### Fe-Ni alloy/ 鐵鎳合金

又被稱坡莫合金。用鎳含量為 35% 至 80% 的鎳鐵合金來提高初始磁導率，該術語反映了磁導率和合金的結合。它對微小磁場變化的敏感性回應了它在許多電磁閥和磁頭應用中的用途。還可以通過添加銅、鉻、鉬等來改變磁特性。

#### Fe-Si alloy/ 鐵矽（矽）合金

鐵矽材料其實是馬達電機中用的矽鋼片，以作為電磁導引的基底，和永磁互相作用使馬達軸高速懸浮且能旋轉，在鐵中添加矽意味著比純鐵的共旋力更小，並且由於電阻增加，鐵損耗最小，從而形成一種優秀的軟磁材料。然而，材料的硬脆特性阻礙了可加工性。因此在粉末基礎上，利用 MIM 有望實現淨形零件的生產。此外，在保留所有磁性的同時，它正在開發表面改性、複合技術和檢測微量附加元素，以彌補其強度和耐腐蝕性差的缺點。



工藝區別	PM (Press & Sinter)	MIM
粉末顆粒大小	75-150um	0.5-50um
粉末外型/表面	不規則且粗糙	接近球狀且光滑
燒結後製品密度 (相對值)	75-85	>98%
產品重量 (最小限制)	>1g	>0.01g
最薄厚度(mm)	0.5	0.1
最小孔徑/外徑(mm)	Φ2	Φ0.1
環境控制 (成型機旁)	粉塵多	無粉塵、乾淨
碳含量控制	不易	佳
磁性能 (軟磁特性)	精度低、誤差大	精度高、誤差小

表 1：PM/MIM 工藝製作產品區別

## Fe-Co alloy/ 鐵鈷合金

波門杜爾鐵鈷合金或稱 HiperCo 是一種軟磁材料，其特點是鐵和鈷的合金比例為 1:1，其突出特點是最高的磁通密度。它用於電磁透鏡、電子顯微鏡、最新的列印頭和線性脈衝電機；所有這些都要求高可靠性。然而，在退火和常規加工過程中，材料容易脆化或變形。MIM 通常可以解決複雜形狀或薄壁零件的高精度批量生產等問題。此材料中加入 V(0.8-1.2%) 是為了改善材料的硬脆性。

另有其他 MIM 材料可以做為磁阻特性及較新的導磁材料，包含：

- 如銅、黃銅、鋁等，這是可以使用 MIM 工藝製作的磁阻材料；
- 鈷鉻鋁合金 (ASTM F75) 是 2018 年起美國蘋果公司使用在手機後攝像鏡頭保護片的新材料，其導磁率高、無磁化特性、不易生鏽，且硬度高，適合製作成薄件，但材料價格較為昂貴；
- 非金屬的鐵氧體包含錳鋅、鎳鋅鐵氧體，這些是用

來作為電感元件的中芯材料；

- 最新的鐵系非晶合金也已經使用 MIM 工藝製作軟磁元器件。

## 應用說明

如圖 2 所示的產品和應用範例。我們把其中的磁軛拿出來說明，這個元件幾乎在進過銀行的人都聽過它發出的聲音，沒錯就是列印支票和傳票的列印頭控制器的部分，這是一個非圓形對稱的金屬零件，其中細長的磁性柱銷在深的凹槽，原來加工方式採用沖壓的本體並以焊接方式將磁性柱一根根的焊上去，非常耗費人工，採用 MIM 工藝後使用一模 4 穴或 8 穴來製作高導磁並防鏽的不鏽鋼材料，可以輕鬆的每月完成 10 萬件的訂單（原來採用手工焊接磁性柱銷必須要大量人工），如圖 3 所示的產品。

## Dr. Q 的提醒

所有 MIM 製品的燒結都著重在於控制碳含量，尤其是燒結軟磁材料更為重要，維持最低的碳含量甚至必

Magnetic properties	Coercive force $H_c(A/m)$	Maximum relative Permeability $\mu_m(10^3)$	Magnetic flux density B(T)	Maximum Magnetic flux density BS(T)
磁性質	矯頑力	最大磁導率	磁通密度	最大磁通密度
SUS 17-4PH	No recommendation/不推薦 (太多問題)			
SUS 316L	2.11	<1.05	<0.2	<0.25
SUS 410L	160	2	1.08	1.29
SUS 430L	140	1.5	0.55	1.58
MIM 2200	120	2	0.8	2.0
Fe-3Si Grade 1 Grade 2	20~130 (56) (80)	4.5~13 (8.5) (6.0)	1.66~1.75 (1.2) (1.2)	1.92-2.12 (1.95) (1.90)
Fe-50Ni Grade 1 Grade 2	6.4 (10) (16)	19 (47.5) (27)	1.5 (1.0) (1.0)	1.5 (1.5) (1.5)
Fe-50Co	120	5.2	1.5	2.2
PS : 1. 紅字參考文獻來自 ROTASI – Vol. 19, No. 2, April 2017 :P72-75. (Magnetic Properties of Austenitic Stainless Steel 316L and 316LVM after High Temperature Gas Nitriding Treatment) ; 2. 藍字參考文獻來自 Dr. David Whittaker, PIM International, Vol.7, No2, 2013: P33-41. (MIM soft magnetic materials : Processing · properties and applications) ; 3. 17-4PH有太多後熱處理條件，不易控制金相變化導致材料本身磁域有太多干擾，可改用201容易許多。				

表 2：材料磁性能表

須有氫氣協助脫脂進行低溫脫碳 (<600°C)，這是比較好的選擇。批次式石墨熱場的燒結爐具有真空脫脂能力，當然也可以燒軟磁材料，可以恰當的利用粉末起始氧含量來脫碳。

### 小結

汽車行業已迎來重大技術創新，如電動車、油電混合車並具有自動駕駛和聯網的功能，他們的動力傳動系統全面電氣化，從控制系統到感測器系統，各種軟磁材料的使用正在增加。我們可以戲稱把平板電腦或是筆記本電腦裝上輪子在道路上跑，變成行走的 3C 產品，不同的是我們人類是坐在這個大設備中。

此外，隨著控制系統的發展，在機器人工業和人工智慧的引領下，未來對高性能、小型化、高精度和複雜

形狀的軟磁組件的需求將不斷增加，並在更廣泛的應用中不斷發展。我們未來持續利用 MIM 的工藝技術，開發新產品以滿足這些需求。有關其他軟磁材料、新合金系統和複合材料的更多詳細資訊，Dr. Q 會不定期的更新與提供給各位讀者。■

材料化學成分 (鐵為基底)											
Material 材質	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Other
SUS 17-4PH	0.07	1	1	0.04	0.03	3.0-5.0	15.0-17.5	--	3.5-5		Nb 0.15-0.45
SUS 316L	0.03	1	2	0.04	0.03	10.0-14.0	16.00-18.0	2.0-3.0	--	--	--
SUS 410L	0.03	1	1	0.04	0.03	--	11.0-13.5	--	--	--	--
SUS 430L	0.03	0.75	1	0.04	0.03	--	16.0-18.0	--	--	--	--
MIM 2200	0.13						5.7				Al 6.3 Ta 3 Zr 0.6 W 11.0
Fe-3Si		3.0-3.5									--
Fe-50Ni						49.5-50.5					--
Fe-50Co											Co 49-50 V 0.8-1.2

表 3：可提供 MIM 工藝製作的材料化學成分表

Mechanical Properties/機械性質			
Material 材料	Density (g/cm <sup>3</sup> ) 密度	Hardness (HV) 維氏硬度	Tensile strength 抗拉強度(N/mm <sup>2</sup> = MPa)
SUS 17-4PH	7.5	270-330	1185
SUS 316L	7.95	<120	520
SUS 410L	7.93	<200	360
SUS 430L	7.93	<100	415
MIM 2200	7.65	<90	290
Fe-3Si	7.0	<150	530
Fe-50Ni	7.45	<90	455
Fe-50Co	7.7	<150	205

表 4：可提供 MIM 工藝製作的材料機械性質表（網路上的數據可能會有許些誤差，建議讀者們在查詢資料時可以多找幾篇進行比對）



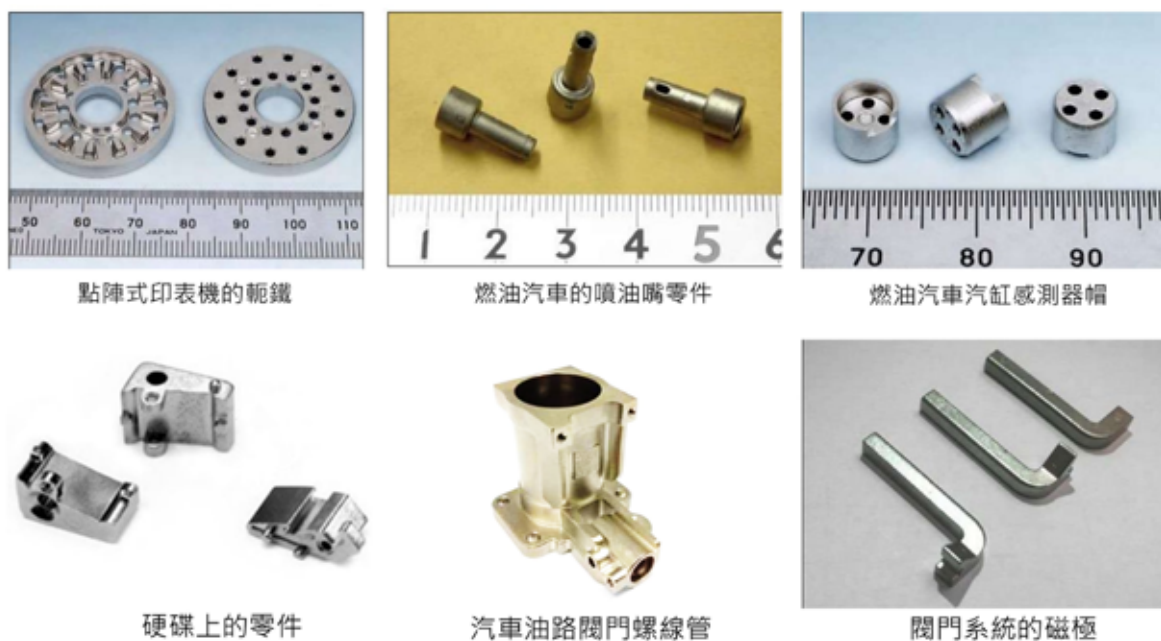
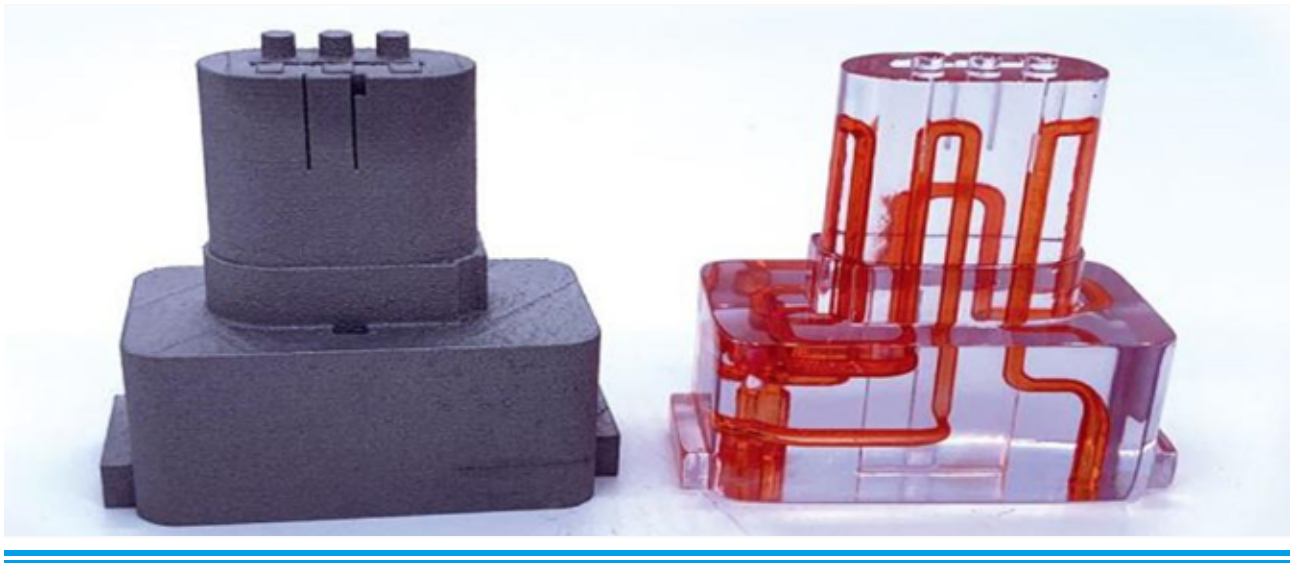


圖 2：MIM 工藝製作的各種軟磁零件，尤其是各種軟磁軛 (Yoke) 幾乎所有電磁裝置與開關都會用上



圖 3：MIM 工藝解決傳統焊接法之軟磁軛鐵的產能問題 (本圖採用 Indo-MIM 產品圖例)



## SLM 製作模具零件

■耀德講堂 / 趙育德 講師

### 前言

在積層製造推行至今，我認為採用 SLM(Selective Laser Melting, SLM) 製作模具零件無疑是 MAM 技術最成功的案例，如圖 1 與圖 2 表示。這是金屬積層製造迄今最成功的方向，沒有其二。這個成果其實是經過不斷的驗證和失敗，幸好跟著電腦科技的進步，包含金屬粉末製造的分選改良、設計與分析模具的軟體進步、製造模具的方法推陳出新、檢驗技術更加先進，多種條件技術的組合在一起才有今天這樣的成果。

我們都知道，金屬積層製造中有七大分類，在前面章節已經說明了最適合於金屬零件的加工方法就是 SLM，主要在於直接融化金屬粉末並使其形成熔池，逐道再逐層的建立出整個產品的形狀，並且過程中以電腦輔助監控其尺寸並加以控制，因此 SLM 只要根據雷射能量功率和光斑尺寸，搭配足夠精細的粉末粒徑，以及更精確的機構動作，能夠控制到達 10 $\mu$ m 的精確度已經不成問題，這是 MAM 發展至今一直努力

的目標。

再者，模具技術的進步已經是大家有目共睹，針對模仁與重要機構，以往是用模具塊材以減法加工的方式進行，而減法加工最大的問題在於移除不需要的材料所耗費的時間。此外，在模具材料價格昂貴的現況下，整套模具所移除的部分至少占整塊材料 50% 的重量，會在材料費用上造成許多不必要的浪費。

除了最初使用 MAM 技術所希望達到的目的——「降低減法加工所浪費的時間」，再加上「材料費用的精簡」，這樣看來是不是更有競爭力了呢？那麼，MAM 技術還有其它的優勢嗎？

### 加法加工的模具製作要點

注意到加法加工的幾個優勢，我們人類其實一直使用著，就是快速製作型材，這屬於加法加工的範疇，包含常見的型材坯、料帶、料捲都算是，最接近產品的

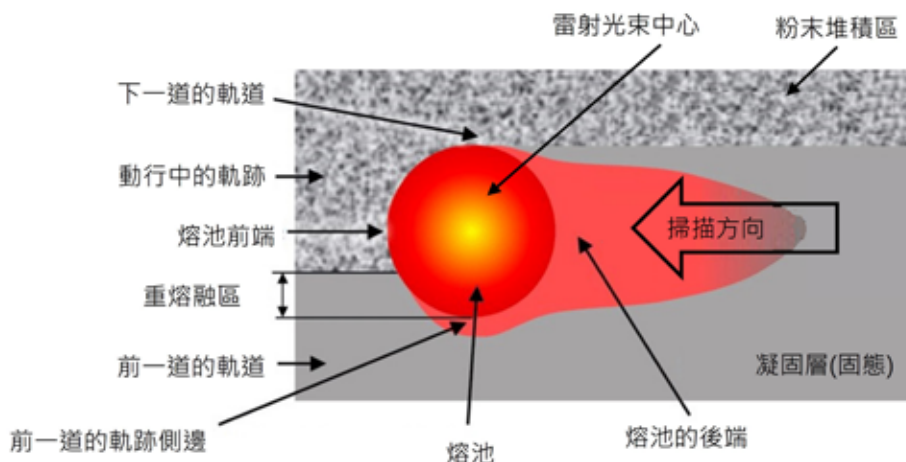


圖 1：SLM 成型的原理（上視）——逐道完成產品形貌定義與結構固化（本圖片由邱博修改）。資料引用自 <https://www.researchgate.net/publication/328943270>

就是鑄造、射出成型、壓鑄成型這種近淨型加工，在空無一物的模具型腔中加入液化的材料，再等其固化後脫模獲得產品的生坯，然後進行後加工，包含尺寸精確定義、表面拋光、熱處理與表面裝飾等步驟。

「咦！？MAM 在列印完成不就可以直接使用，怎麼還要進行加工呢？」各位讀者不要被那些不專業的新聞報導所誤導，加法加工的過程通常會以材料安全 (Material safe) 或是尺寸安全 (Dimension safe) 考慮，增加一部分的材料來確保最終重量與尺寸的保障。在過去，鑄造件算是一種典型的廣義積層製造，我們設計鑄件產品必須考慮精加工裕度的保留，在防止材料收縮變形的過程，還要增加某些特徵來抵抗變形和補充材料（澆口 = 射出模具的進膠口、冒口 = 射出模具的加大排氣），然後在定型後脫模再以二次處理清除這些輔助的特徵。

誰說 MAM 產品和模具可以不需要材料安全和尺寸安全的設計？加法加工也和傳統金屬零件製作的設計理念有雷同之處，包含如下：

- MAM 產品或模具都需要進行二次尺寸定義與表面

處理，才能達到精確的幾何形狀與尺寸公差，甚至表面光潔度也包含其中；

- 輔助的特徵通常在完成品上是看不到的，但是由金屬粉末（多界面和高熱阻抗）熔化並凝固成塊的過程，大量的熱必須有逸散的路徑，同時在薄弱或是斷面劇烈改變、封閉狀薄殼特徵時，必須要有額外的支撐以防止產品變形，同時在完工之後取下產品將是比較容易的作法，如圖 3 所表示的一些特徵；那麼這些概念不就是來自早期的鑄造多出產品肉的設計概念？模造品寧可多肉也不要缺肉，MAM 當然也是這樣的呀！
- 根據圖紙的設計需求，保留二次加工的裕量，該裕量也要根據加工設備的性能和特性來下達最終列印的增量，當然必須要考慮額外的夾持和定位的要求。

### MAM 模具加工經常性的問題

在積層製造模具的過程中，金屬粉末的化學純度、表面氧化程度、幾何形狀與粒徑分佈經常困擾著加工與設計的人員，另外包含一些水路的設計與排布，我們也在此進行簡略的說明：



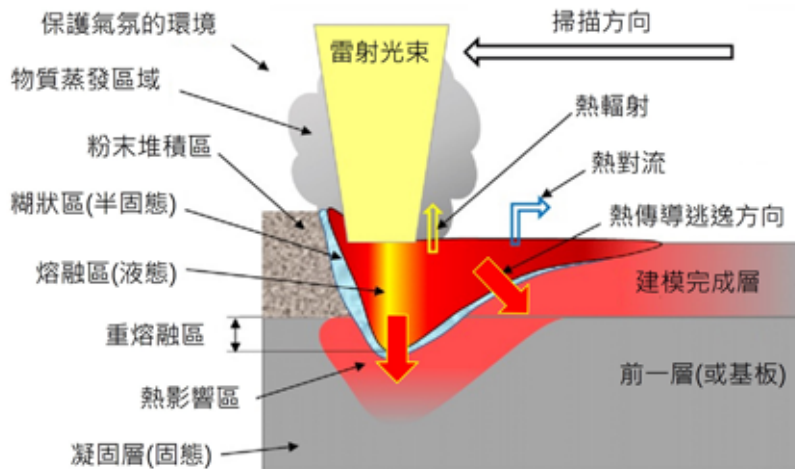


圖 2：SLM 成型的原理（側視）——逐層完成產品形貌定義與結構固化（本圖片由邱博修改）。資料引用自 <https://www.researchgate.net/publication/328943270>

- 關於金屬粉末，在 SLM 的製作過程中，一定要選擇已經經過預合金熔煉過的霧化近球形粉末，主要是我們不可能光靠雷射束熔化金屬並且保留充足時間使金屬合金成分均質化，列印過程的熔池是一個動態的局部高溫區，其冷卻隨列印速度的設計而快速發生，因此元素粉末混合的合金粉不能使用在此，但採用燒結法的 MEX 和 BJT 是可以允許的，因為分段加熱——低溫定型、高溫固化，高溫固化是無差別加熱整個生坯並保持一定時間使元素之間可以有有效的互相擴散達到均質的目的；
- 再則如果是個別的元素粉末，某些金屬的蒸氣壓很低，例如銅、鋁、鉻、鈷等，單獨元素在雷射光束的加熱溫度下會直接蒸發，甚至留下孔洞；
- SLM 工藝非常在意粉末顆粒大小的分布，為什麼呢？請見圖 4 與圖 5，較大顆粒在原有設定的雷射光功率下並不足以被熔化，因此造成飛濺跳出、阻擋上下層融合，最終導致在拋光表面處理後出現孔洞缺陷。部分設備和廠商在列印過程出現缺料、卡料，有可能是列印用的金屬粉末顆粒過於分散，導致粉末產生架橋現象，這可能是過多細粉和畸形粉造成的缺陷；

- 對於有隨型水路的模具零件，必須考慮到模具材料的熱性能和強度，水路設計已經從以前的圓形管道（減法加工只能是圓柱鑽頭並且是直通的管道），改變成扁型水路（增加吸熱速度並能減少水路所佔據的空間），如圖 6 所示，這個設計在电路板的導線也經常出現，等效面積但具有最寬的接觸邊和較低的空間佔有，在筆記本電腦、電動車的鋰電池導電片都使用扁和薄的鍍片，而不使用圓柱狀的銅導線。

## James 的提醒

積層製造的設備和供應商不能讓昂貴的設備沒有開啟預警報或是任意關閉警報功能。列印前，要能提前告知粉末存量是否充足；出現問題時，要能由設備發出通知給管理人員，否則就失去了 24 小時在線工作的意義。

## 小結

MAM 的出現給傳統金屬模具製造業者帶來強而有力的震撼，但不是負面，而是正面的力量。有了 MAM 工藝便可以創造出以前難以想像的隨型水路或油路，增

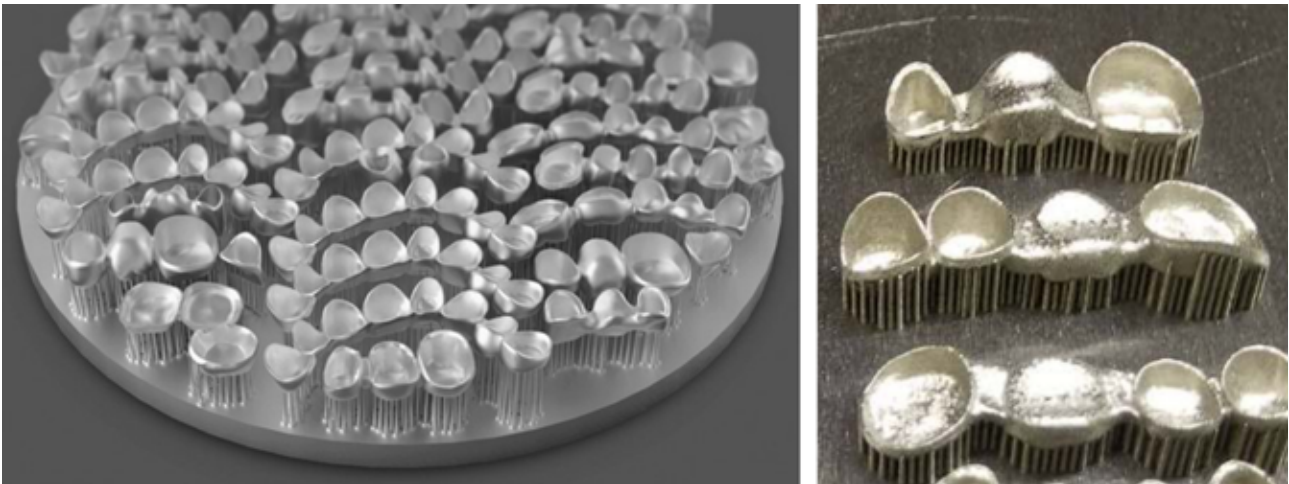
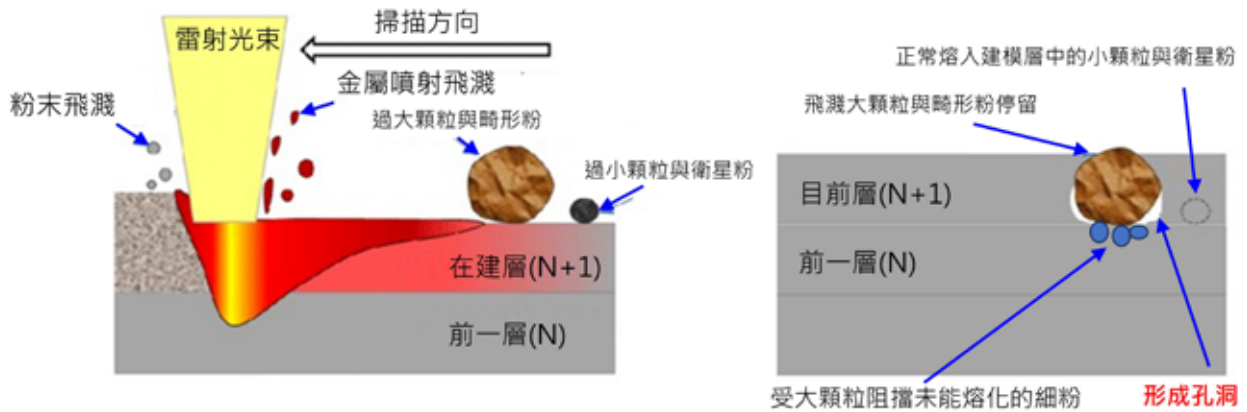


圖 3：在金屬積層製造列印的牙冠下方像章魚腳的特徵就是額外的支撐



這就是為何SLM甚至要求的粉末最佳粒徑區間在35~53um的緣故

圖 4：SLM 的缺陷——大顆粒粉末飛濺的缺陷（本圖片由邱博修改）資料引用自 <https://www.researchgate.net/publication/328943270>

加精確控制模具溫度冷卻與溫度的差異分布。若以後我們聽到一套模具需要用到超過 5 台的模溫控制器，也就不必大驚小怪了，畢竟以前沒有辦法用。而 MAM 技術除了改變水路的位置和分布外，也可以挽救模造零件的表面缺陷。記得，不要認為不可能，因為「不可能」中有「可能」這兩個字在後 ( $2/3=66.66\%$ )，這是恩師邱博經常告誡我的話，也送給咱們讀者吧！

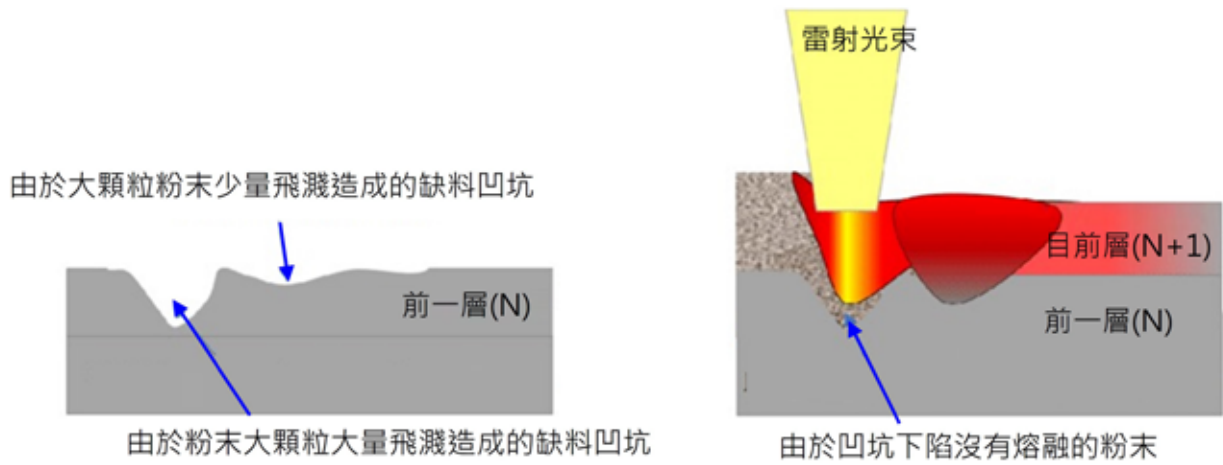


圖 5：大顆粒粉末對 SLM 的表層缺陷影響（本圖片由邱博修改）。資料來源 <https://www.researchgate.net/publication/328943270>

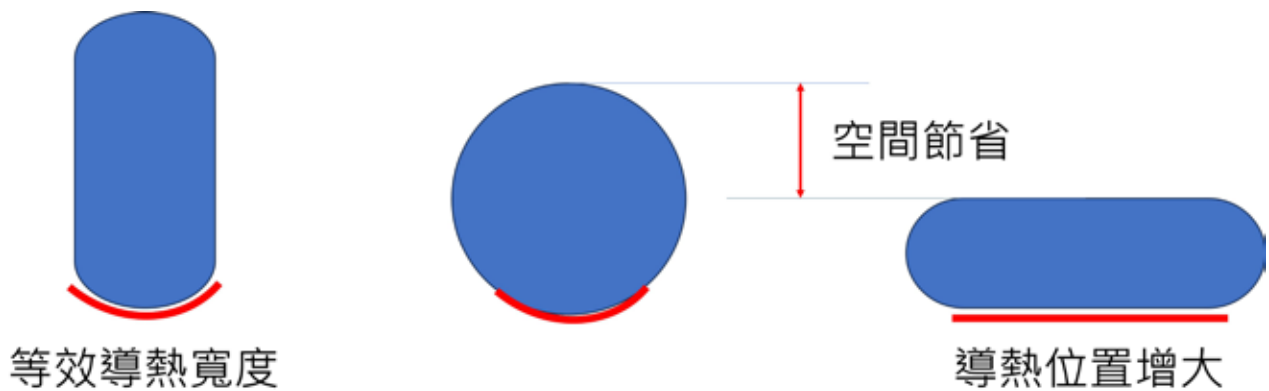


圖 6：圓柱狀水路與扁平狀的水路差異與應用場景

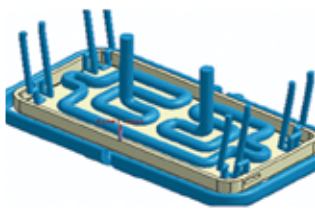


### 先進技術 - 高效節能

#### 先進模具技術



CAE模流分析技術



模具水路設計

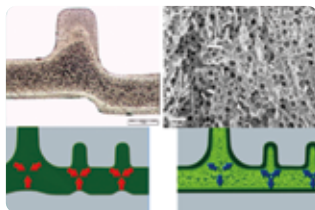


EBM電子束表面改質/拋光

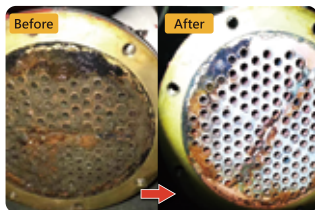


金屬3D列印技術

#### 先進成型技術



微細發泡成型技術



模具水路清洗保養技術



微小精密成型技術

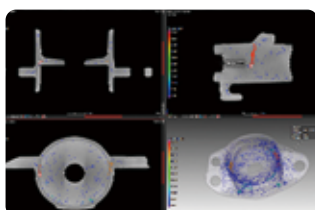


電力監測系統

#### 先進檢測技術



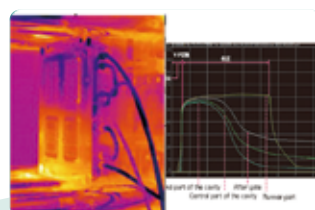
應力檢測



CT斷層掃描技術

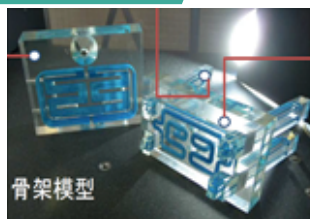


鎖模力平衡度檢測



模具溫度/壓力檢測

#### 成功案例 1



骨架模型

#### 金屬3D列印

有效地縮短模具冷卻時間，排除模內困氣，達到提高射出成型效率、改善塑件品質的目的。

#### 成功案例 2



Before

After

#### 新世代電子束加工技術【EBM】

提高表面面粗度，節省手工拋光時間。

#### 成功案例 3



#### 微細發泡成型技術

藉由泡孔擴張來代替射出機保壓，降低體積收縮率，使壓力分佈均勻，減少翹曲變形。

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名



型創科技顧問股份有限公司  
MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北 · 東莞 · 蘇州 · 泰國曼谷 · 印尼雅加達

規劃中據點

台中 · 台南 · 寧波 · 廈門 · 馬來西亞 · 菲律賓 · 越南

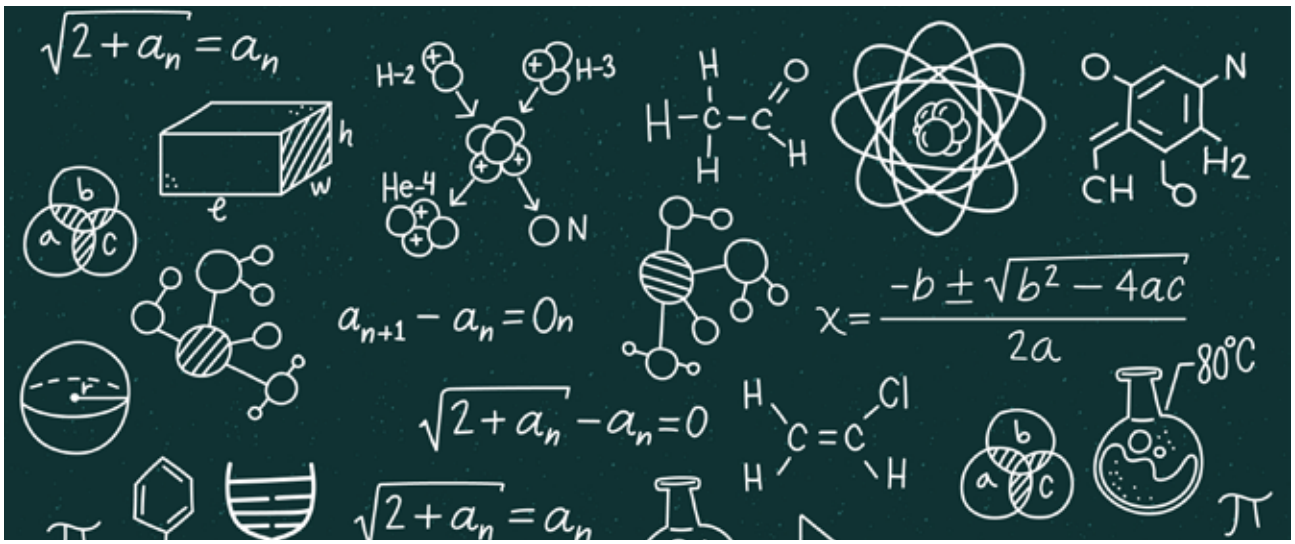
+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/atom-ch

廣告編號 2023-10-A06





## 回歸基礎，邁向未來

■耀德講堂 / 邱耀弘 博士

### 前言

本期主要討論金屬粉末成型的三大主流技術，在發展數千年的歷史之後（最早在古埃及發現氧化鐵燒製的金屬製品，紀元前 3000 年），面對大量製造需求則是在近代的 19 世紀初的 50 年代才開始，但是到了我們開始大量使用金屬零件則是已經到了 20 世紀的晚期之後（1950 年）。根據前面的討論，Dr. Q 來將這個時代主流金屬粉末成型技術進行總整理，也加深大家對本期專刊的主題知識。我和趙博士討論的結果，認為用問題與討論是一種有趣的結論方式，我們來一起看看。

### 對於 PM/MIM/MAM 所使用的粉末可不可以共用？為什麼？

如第 1 篇所敘述的粉末材料所表示，三大主流金屬粉末成型技術使用的粉末粒徑分佈，其中 PM 最粗大、MIM 最細小，積層製造則居中（包含 Binder Jet, PBF-LB, PBF-EB, and DED）。

注意到 PM、MIM、MAM 三種工藝用的粉末在粒徑上有交互重疊之處，不過因為製程不同使用成型設備、固化能量與模具與否都不一樣，完全不可以混用以避免產品品質不良，甚至根本無法進行製造程序。以下列出重點：

- 三大粉末成型技術發展所使用的粉末粒徑有一定的區隔，無法混合使用；
- 對於燒結法包含 MIM 和 MAM 工藝，其金屬生坯中至少 80%（同樣材質以重量比即可，不同材質的混合粉末必須換算成體積比）粉末粒徑小於 30 $\mu$ m 以下，同時生坯中的固體粉末堆積率 >45vol%（體積分率），才能夠精準的以阿基米德原理來推算最終產品的尺寸；
- 大於 50 $\mu$ m 以上的金屬粉末所具有的燒結驅動力 (Drive force of sintering) 大幅降低，無法有效的大範圍燒結並且融合在一起，這導致尺寸控制的方式不容易推算其數學模型，干擾因素太多；因此 PM

技術別	名稱	材料利用率	材料消耗比	零件耗能 (MJ/kg)	耗能倍數	相對密度	表面粗糙度 (Ra~um)
模造 (廣義加法)	傳統粉末壓製	>90%	1 (比較基準)	28.5	1 (比較基準)	75~80%	4~5um
	金屬粉末射出成型	>95%	0.8-1.1	25	0.8-1.1	>98%	1.5-3um
減材製造 (減法)	鑄造	90%	>1.5	30~38	>1.25	>98%	5~15um
	金屬塑性加工	85%	>1.2	41	>1.3	100%	1~2um
	鍛造	70~80%	>1.3	46~49	>1.36	100%	2~5um
	數控切削	40~50%	>1.55	65~82	>1.45	100%	2~5um
積層製造 (加法)	粉體床 (室溫)	>90%	<1.1	<28.5	0.9-1.1	>98% (新技術)	1.5~3um

表 1：PM/MIM/MAM 的工藝差異性

和 MAM 的部分技術是沒有辦法推算其生坯與燒結坯的尺寸比例關係，因此這兩種技術成型的生坯與固化後的產品幾乎沒有收縮變化。PM 的壓製後尺寸和燒結後的尺寸誤差僅為千分之 2 (0.2% 收縮率)，主要是根據經驗累積；MAM 使用熔融法則是精準地控制雷射光斑和熔池，尺寸的誤差約在 0.5% 甚至更小。

### 請以材料、能量消耗和零件性能描述 PM/MIM/MAM 的工藝差異性

如表 1 所描述的幾個比較數字，本表是由臺灣 3D 列印公會所製作的調查資料。其中比較的專案包含材料有效的利用率、消耗比；零件製作的耗能與耗能比；零件的相對密度（燒結固化後）與表面粗糙度。

- PM 的粉末在沒有經過燒結的再回收利用是可以的，但因為壓製後的粉末變形度不同，主要是粉末在膜腔內堆積與壓製作用力導致殼層效應（外殼密度高、芯部密度低），只能降級使用而無法再度混合於同級正式量產品的生產上；

- MIM 的喂料在多次使用後會分解並降低流動性，但可以經過適當的調整補救，只要不經過燒結，即便是脫脂後的棕坯（生坯經過脫脂）仍可以破碎回收再製，但生坯（僅射出後）、棕坯需要區分開進行回收，要建立嚴格的回收喂料機制；
- MAM 的粉末或是喂料是有區分的，熔融法的雷射由於光斑能量密度高，不論是燒結還是熔融的過程會有少量跳火、小顆粒粉末局部團聚的現象，要重複使用時必須先篩濾過團聚的粉末，並且使用一定比例的新舊粉混合；間接燒結法使用黏結劑沾黏，一樣會造成粉末團聚現象，重複使用也必須要過濾；另外使用 MIM 喂料絲列印後尚未燒結前的生坯或是脫脂後坯，都不宜回收使用，主要是重製絲材的技術和設備並不普及，建議報廢或是集中數量販賣給 MIM 喂料製造商回收。

### PM/MIM/MAM 的產品特徵差異處在哪？

#### PM 製品

如圖 1 所展示的 PM 製品，產品的維度大多是 2D，只



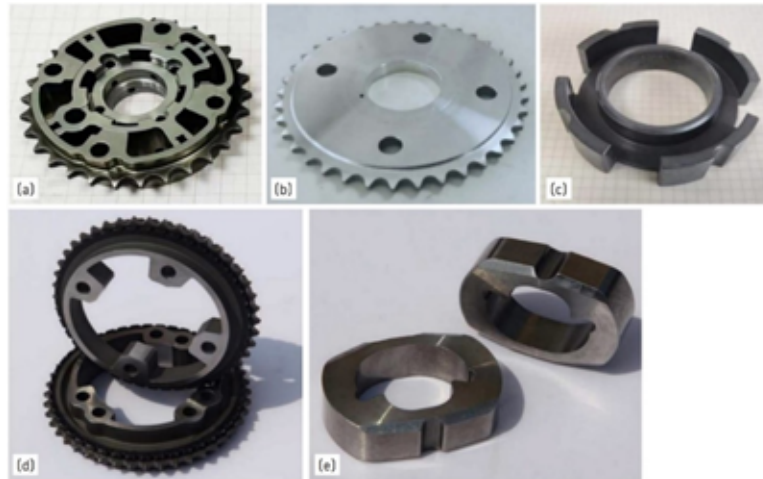


圖 1：每件產品的重量都超過 100g 以上的不同 PM 製品展示。(a)VVT（可變氣門正時）轉子 / 鏈輪；(b) 鋁合金鏈輪；(c) 軟磁定子；(d) 橡膠包覆進 / 排氣凸輪軸定子鏈輪（本零件榮獲世界 PM2018 產品獎）；(e) 密度 $\geq 7.53 \text{ g/cm}^3$  的打擊塊（本零件榮獲世界 PM2018 產品獎）。所有照片均由寧波東睦集團 NBTM 提供

有少部分斜面或非上下方向特徵可以借助模具的設計與後加工輔助完成 2.5-3D 造型。

## MIM 製品

MIM 製品如圖 2 所示，都是一些形狀複雜的零件且產品重量沒有超過 50g，大部分都低於 10g 甚至有 0.5g 的小產品。可以看到 MIM 製品有極為複雜的造型，就是設計金屬零件有如塑膠零件一般的想法，3D 造型被大量用在精密零件，尤其是電子產品上。

## MAM 製品

圖 3 為 MAM 的最新微米級 3D 列印（資料提供系由江蘇雲耀深維科技有限公司 [www.aixway3d.cn](http://www.aixway3d.cn)），這是地表上最精細的 SLM 列印製品以及工藝。其他大型件我們就省略不談，積層製造的製程能力已經迅速追趕 PM/MIM 並大幅度的超越（只需要一部列印機便可以取代冗長的製造程序）。

## PM/MIM/MAM 工藝的產出能力

圖 4 可以非常淺顯易懂的表示三個工藝的產出能力特

色。PM 僅能製作中度複雜特徵，但能製作大件 / 量大的訂單；MIM 可以製作複雜特徵且產能很大，但是重量不大；MAM 則是數量不多，但製品的重量和複雜度都沒有限制。特別是 MIM 原本僅是取代精密鑄造（Investment casting，又稱熔模鑄造、失蠟鑄造或脫蠟鑄造），但是逐漸有侵入老大哥 PM 的領域，未來會更加大零件重量與尺寸的製造能力，但是 MAM 在燒結法發展後又等於是 MIM 工藝的背後黃雀（MIM 可以假設為螳螂，而 PM 與失蠟鑄造、傳統機加工與鍛造等則是蟬），非常期待 MAM 工藝突破限制來挑戰 MIM 工藝，不過 Dr. Q 比較相信這些工藝都可以互補缺點，既是競爭者又是互補角色。

## PM/MIM/MAM 工藝為什麼懼怕細小和粗大的粉末？

在所有粉末製程中，過細小和過粗大的粉末都不適合，我們舉麵粉為例，用來製作餅皮如果粉末過細小，一下子就會被水帶走；但若是粗大的麵粉，則不是該顆粒煮不熟，便是因孔隙導致口感不佳，在所有粉末成型都害怕這樣的事情。如圖 5 所示，金屬顆粒因大



圖 2：MIM 製品的樣品展示 (Dr. Q 自己的 MIM 樣品盒)

小差異過大而導致燒結後產品出現缺陷的原因。

### 對於 PM/MIM/MAM 工藝的綜合差異分析

雖然在前面已經有所描述，但仍將各項比較參數整理放置於表 2 中。由於 MAM 是區分為兩大類別，熔融法比較偏向 PM 使用較大顆粒粉末，而燒結法則是使用與 MIM 相近的顆粒粉末，近年來 MAM 技術的發展到極小（可以接列印心臟血管用記憶合金支架，直徑約 0.1mm 中空特徵，德國技術），到直接列印飛機的尾翼與翅膀的大形結構（超過百公斤，大陸開發的指向性雷射列印設備），都已經超過 PM/MIM 的尺寸與重量限制（上下限），同時還做到模造技術無法成型的網格或是晶格結構（統稱拓樸結構），請讀者注意。

### PM/MIM 主力設備比較

PM/MIM 的工藝流程在前都已經敘述，重點的比較將放在設備對於原料製備、生坯成型、熱程式三大部分來做比較，讀者可以知道兩個製程的差異。

#### 原料製備

- 粉末的製程不同。PM 粉末大多使用還原法與水霧化法，具有比較大且表面不規則、粗糙的特性，需要的在於粉末有塑性變形能力以使壓製過程能

夠互相產生機械冶金，其中海綿狀金屬是還原後的材料主要形狀，必須經過破碎研磨過程，水霧化則是使用中壓水、大的噴嘴將材料噴出成粉；MIM 的主流粉末獲得已經是採用氣霧化法 (Gas atomization) 改良成為氣水聯合霧化法 (Gas with water atomization)，利用高壓力的水、較小的噴嘴（孔直徑 >3mm）幫助氣霧化粉快速冷卻並將粉末破碎的更細小；

- 硬質合金都是利用還原法獲得後再進行研磨細化，不論 PM/MIM 都一樣；
- 羰基法則僅用在鐵、鎳的高純粉末之獲得；鈦合金與高活性合金的 MIM 粉末就必須採用氣體保護的方式；
- 粉末與成型助劑的混合。PM 大多採用簡單的滾筒混合，大多採用乾式混合，除了硬質合金以溶劑採用濕法混合；MIM 就分為水基（金屬較不採用水以免生鏽）、蠟基、塑基三種聚合物的添加來製作射出用的喂料，因此 MIM 原料製配設備遠高於 PM 的設備，產出效率也比較低。

#### 生坯成型

- PM 使用立式壓機根據產品尺寸大小，搭配模具和

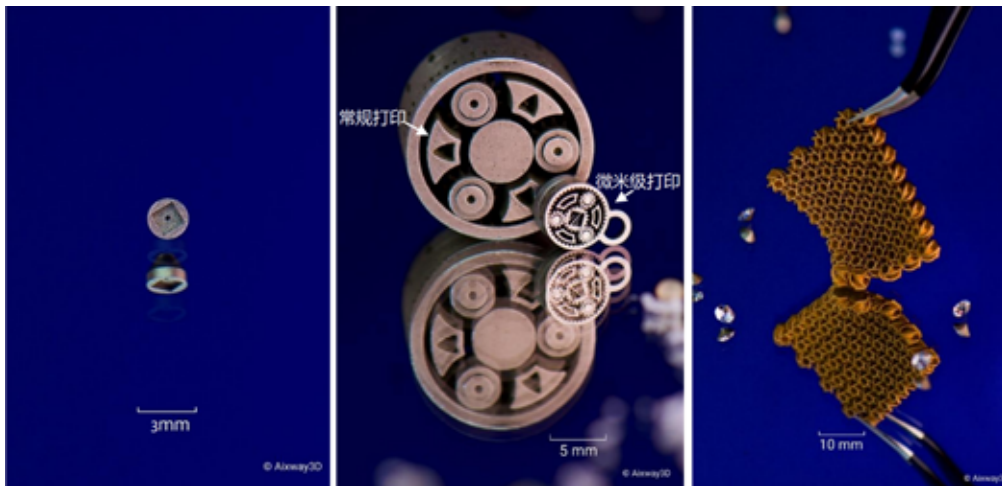


圖 3：MAM 的最新微米級 3D 列印 (SLM-PBF)

模座的設計甚至需要高度高於 5 米以上，主要在製品的階段多層（模具根據需要分為多段上下，上沖頭目前最多 3 段、下沖頭最多 5 段）設計，並可能利用側向氣缸來協助額外的產品特徵需求，主要還是 PM 的工藝粉末流動性無法如液體般傳送均勻的壓力；MIM 的喂料因為加熱後產生液化，因此可以均勻的傳送成型壓力使產品密度均勻。

- PM 的壓機設備價格不比 MIM 射出機便宜，在設備選型上更為複雜；
- 因此 PM 著重在模架與模具的搭配，比起 MIM 直接採用塑膠用的模具較為複雜。

### 熱程式——第一步與第二步脫脂

- PM 的粉末粒徑大導致孔隙大，加上成型助劑占比很小，因此不需要脫脂（或稱排膠）；
- 硬質合金就必須如 MIM 的方式緩慢的在低溫 (>600°C) 以每分鐘 0.5-1°C、並分段保溫緩慢的脫脂；
- MIM 目前採用二步式脫脂，根據黏結劑的不同，第一步脫脂對於蠟基料首先要進行溶劑脫脂（低於 60°C 的溶劑中浸泡），而塑基料則進行酸催化脫脂 (90-140°C)，然後脫除剩餘高溫骨架劑則在真空燒

結爐或是正壓爐（連續式或批次式）進行第二步熱脫脂到 600°C 才完全到脫除黏結劑並保持產品幾何特徵的對稱性。

### 熱程式——燒結

- PM 大多不使用批次爐不代表不可用，主要 PM 製品重量大、數量龐大，需要較為經濟型的燒結方式，網帶爐、推舟爐為主要，溫度並高於 1200°C 為主。燒結爐的保護氣大多以氨 (NH<sub>3</sub>) 分解得到氮氣與氫氣；
- 硬質合金大多使用石墨真空爐，燒結溫度要大於 1500°C，氣體使用氮氣與真空不用氣體；
- MIM 分為兩大爐型，批次型的石墨或金屬熱場真空脫脂燒結爐以及連續型的陶瓷熱場步進梁 (Walking beam) 連續爐，燒結溫度在 1250-1400°C 之間，石墨熱場爐使用氫氣與氮氣兩種、金屬熱場爐與步進梁連續爐均使用氫氣、氫氣與氮氣三種氣體。

### 寫在最後——總結

2023 年 7 與 8 月是 Dr. Q 重新開始的時間，在臺北進行了全口牙齒的重建，牙齒內的材料已經更換成 MAM 製作的鈦合金 (Ti-6Al-4V, TC4) 牙根與骨架、AM 製作的光固化樹脂假牙，未來六個月後要把上排牙齒更換



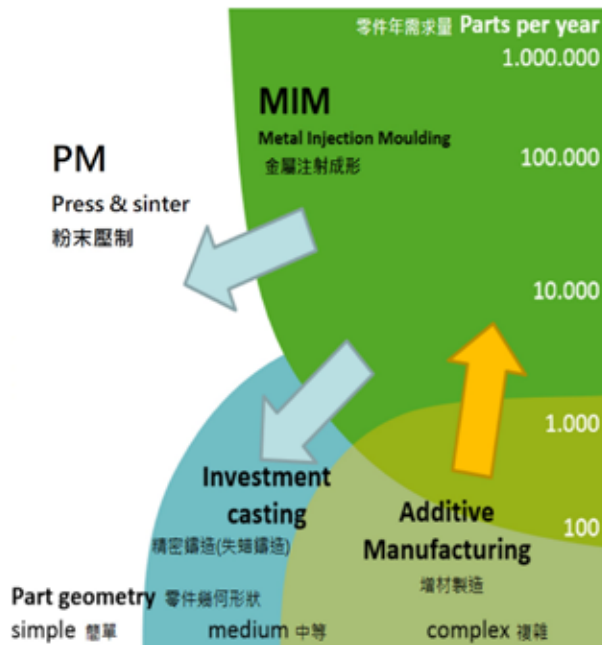


圖 4：三大粉末成型技術的產出能力表示圖

### 粗粉和細粉的收縮現象

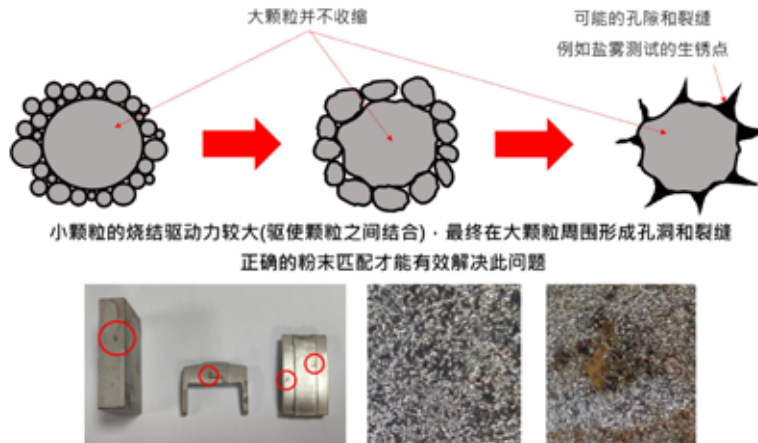


圖 5：粉末顆粒過大造成產品的表面與內部孔隙

成氧化鋯 (ZrO<sub>2</sub>)，剛好利用這進一個月的休息來寫出本期內容並督促趙碩士一起完善本次的幾篇報告。科技再怎麼進步，其基礎就是數學、物理與化學，並組合文字與繪圖，這些基礎學科都是在學生生涯反覆演練的，甚至到了工作職場也一樣。

搬出耀德講堂的箴言分享給我所有的讀者，我們要做 S.M.A.R.T. 的工作，那就是：

- See (觀察) ；
- Minute (紀錄) ；
- Analysis (分析) ；
- Research (研究) ；
- Try (嘗試) 。

出刊正值兩岸國慶假期，期待未來兩岸同胞在粉末成型技術上持續的領先，共同邁向更美好的未來。■

工藝	PM	MIM	MAM
粉末照片 (照片標記為50μm)			
零件幾何造型	2~2.5D	3D	3D
特徵細節表現	0.5mm	0.01mm=10um	0.05mm/層(最小)
最薄厚度特徵	>1mm	>0.08mm	>0.1mm
中空結構	不可	可	可
表面緻密層	無	有(0.01-0.1mm)	無
格子網狀結構	無法	極難	可
零件的尺寸公差	+/-0.1%	+/-0.3%	+/- 0.3%
黏結劑/成型助劑 (wt%)	<5%	6-20%	<5%
粉末細微性 (Mesh #, μm)*	-100#, +300# 75-150μm	-500# 0.5-30μm	-100#, +300#(PBF-EB) -400#, +500# 15-53μm (PBF-LB) -500#, <30μm (燒結法)
粉末篩分	篩網	篩網與氣流篩	篩網
粉末細微性品質檢驗	篩網+雷射細微性分析	雷射細微性分析	篩網+光細微性分析
粉末形狀檢驗	光學顯微鏡(OM)	電子顯微鏡(SEM)	電子顯微鏡(SEM)
粉末流速檢驗	霍爾流速計與安息角測試	MFI熔指儀測試喂料	霍爾流速計與安息角測試
粉末圓球度	0.4~0.6	>0.65	>0.85
成型時 粉末移動距離	1-50mm不等	>500mm	鋪粉後幾乎不動
燒結坯相對密度	75~80% 使用粉末而定	>98% 通用	>98% DLM可近100%
代表金屬材料	鐵、銅為主的合金 鎢重合金、不鏽鋼	鐵系,不鏽鋼,鈦,銅,鈷,鎳等 系列合金	不鏽鋼,鈦,鈷合金種類少
生產效率	高/極高	高/極高	慢
產品重量	5~50,000g	0.001~5,000g	0.5~100,000g
設備主力	壓機/模架/模具	射出機/模具	各式印表機

表 2：PM/MIM/MAM 工藝的差異性

ACMT

SMART  
Molding  
Magazine

www.smartmolding.com

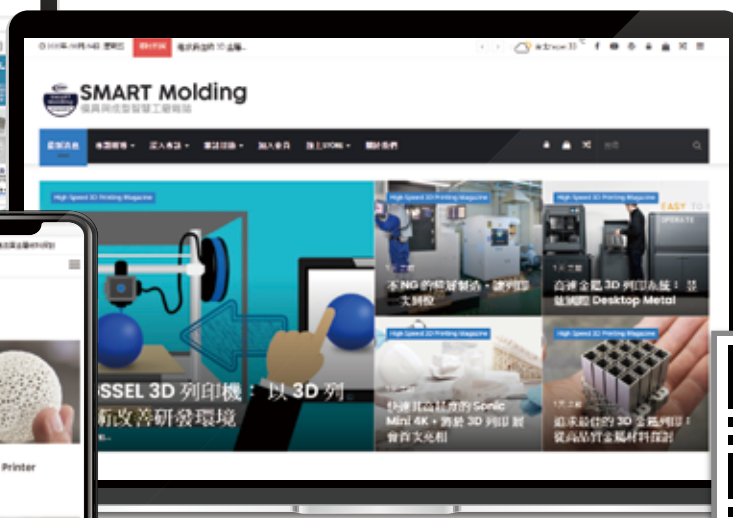
【SMART Molding】數位版雜誌

全球華人最專業的模具與成型技術雜誌(ACMT會員月刊)



會員專屬

超過1,200篇以上產業技術內容與深入報導 —



www.smartmolding.com



內容特色

更多內容請上

- 擴展橫向產業範圍增加【3D列印】、【粉末冶金】、【壓鑄模具】、【自動化】、【數位化轉型】、【智慧工廠】等領域。
- 每月內容涵蓋模具成型相關最新材料、技術、設備及應用案例，2017年創刊至今已出版80期。
- 原創內容-針對台灣、華東、華南及東南亞地區的企業進行採訪報導，了解這些企業的成功經驗及競爭力。
- 邀請成型技術各領域行業專家擔任主編增加不同製程觀點。



# 型創應力偏光儀

✗ 產品外觀變形及翹曲

✗ 產品發生破裂、裂化、使用壽命縮短

✗ 產品後加工效果不佳

✗ 產品光學特性需求無法滿足



適用透明件



一目瞭然



即時檢測

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名

廣告編號 2023-10-A08



型創科技顧問股份有限公司  
MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達

規劃中據點

台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南



+886-2-8258-9155



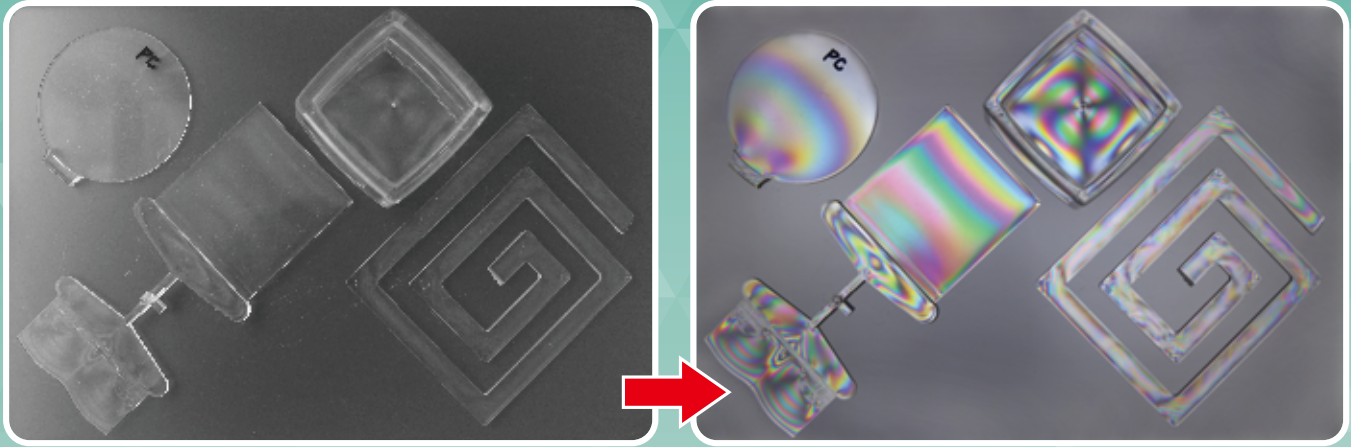
info@minnotec.com



<https://minnotec.com/sv/>



## 應力偏光儀觀測 實際畫面



### ▼ 應力偏光儀-簡介

穿透式應力偏光儀為一種非破壞性定性觀測的量測設備，是利用塑膠分子結構受應力作用下的雙折射率性質，來觀測塑件的光彈特性變化情形。只要將透明塑膠件或透光件產品或試片放置於觀測視窗內，藉由塑膠雙折射現象及光彈特性可將白色光源經由偏光片偏折後，形成可視覺觀測的彩色條紋，由所顯示的條紋形式與條紋密度，可以觀測塑膠件內部的殘留應力程度。

### ▼ 應力偏光儀-優勢

- 非破壞性穿透式偏光技術
- 直接觀察塑膠產品殘留應力分佈
- 背光式光源模組適用於各式透明塑件
- 手提式設計，重量輕盈，攜帶方便，可在成型機台旁即時使用

### ▼ 規格

尺寸:410(L)X280(W)X60(H)mm  
重量:3kg (淨重)  
電壓:100V~240V



型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名

**mit** 型創科技顧問股份有限公司  
minnotec MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達

規畫中據點

台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南

+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/sv/





### Moldex3D

科盛科技成立的宗旨在於開發應用於塑膠射出成型產業的模流分析軟體系統，以協助塑膠業界快速開發產品，降低產品與模具開發成本。公司英文名稱為 CoreTechSystem，意味本公司以電腦輔助工程分析 (CAE) 技術為核心技術 (Core-Technology)，發展相關的技術與產品。致力於模流分析 CAE 系統的研發與銷售超過二十年以上，所累積之技術與 know-how、實戰應用的經驗以及客戶群，奠定了相當高的競爭優勢與門檻。隨著硬體性價比的持續提高以及產業對於智能設計的需求提升，以電腦模擬驅動設計創新的世界趨勢發展，相信未來前景可期。



## 異型水路精靈強化 增加異型水路的支援性

■科盛科技

### 前言

在塑件成型週期中冷卻時間佔成型週期約 70%-80%，良好的冷卻系統設計不只能減少翹曲變形還可節省生產時間。所以冷卻水路設計是影響冷卻效率、生產效率以及成本掌控的重要環節，為了得到均勻冷卻效率，Moldex3D 提供冷卻分析模組以及工具，使用者可以透過 Moldex3D 進行最佳冷卻水路設計，並且提供異型水路精靈讓使用者可以快速建構貼近產品輪廓與深入難以觸及區域的冷卻水路設計，而本次 Moldex3D 異型水路精靈又進一步強化建構異型水路的支援性，讓使用者僅需要繪製 2D 水路路徑，精靈將會快速投影在產品面形上產生異型水路，優化後的水路能提高冷卻水路的散熱效益、改善產品品質與縮短冷卻時間。

### Step 1. 匯入幾何模型

建立一個新的射出成型 (Injection Molding) 專案並選擇網格類型 (Mesh Type) 為 Solid。利用匯入幾何 (Import Geometry)、屬性 (Attribute) 或其它各式精靈等功能建立模型物件，直至模型中有塑件 (Part) 及模座 (Moldbase)。

#### 註：

- 網格類型不支援 Shell；不支援 mfe 檔案，必須先建立模座才可以使用異型水路精靈；

- 匯入產品後需建立表面網格並保持良好的長寬比 (Aspect Ratio)，避免直接使用從 CAD 輸出的 \*.stl 格式。

### Step 2. 建構異型水路

#### 2-1 繪製 2D 水路路徑

使用者可以事先準備 2D 水路路徑或是於工具頁籤 (Tool Tab) 中利用點、線工具於近產品處繪製水路路徑線段。

#### 註：

- 繪製單一水路線段必須為連續且在單一平面上；進出水點設置可在不同軸向；
- 基於現場應用的考量，各水路不應該過於複雜或跨過分模面 (雖然 Studio 允許此類設計)；
- 線段位置不可以與塑件干涉；
- 總體 2D 配置前端與末端要超出產品的投影面積範圍；
- 繪製線段投影的位置需要避開產品的倒勾處；才不易造成投影失敗。

#### 2-2 建構異型水路

進入模型頁籤 (Model Tab)，點選異型水路精靈 (Conformal Cooling Channel Wizard) 依序選取模型及曲線進行設計，根據產品幾何進行參數設定，完成





## Step 1. 匯入幾何模型

後按下確定，2D 曲線將會投影在產品面形上產生異型水路。

### 註：

精靈中的參數會影響水路如何貼近產品及一些小的特徵，雖然越貼近效率越好，但設定時需注意真實可加工性及網格生成的品質。

- 法向量距離 (L) 需使塑件與水路之間有足夠距離；
- 水路直徑 (D) 必須符合水路設計準則；
- 最小模座厚度 (T) 需使模座沒有太薄的區域；
- 曲線的軸向設定必須配合欲生成的水路方向。

## Step3. 完成網格及分析設定

完成所有異型水路設計後點選進水 / 出水 (Inlet/Outlet) 設定進出水口。最後點選檢查冷卻水路 (Check Cooling System)，確認後完成冷卻系統設計。之後在網格頁籤 (Mesh Tab) 生成完實體網格並點選最終檢查 (Final Check) 後，即可開始設定加工條件等分析參數並提交計算。需確認分析序列中需包含冷卻，計算結束後即可確認冷卻結果。

(可在計算參數中的冷卻啟用進階水路分析來達到更好的模擬效果。)

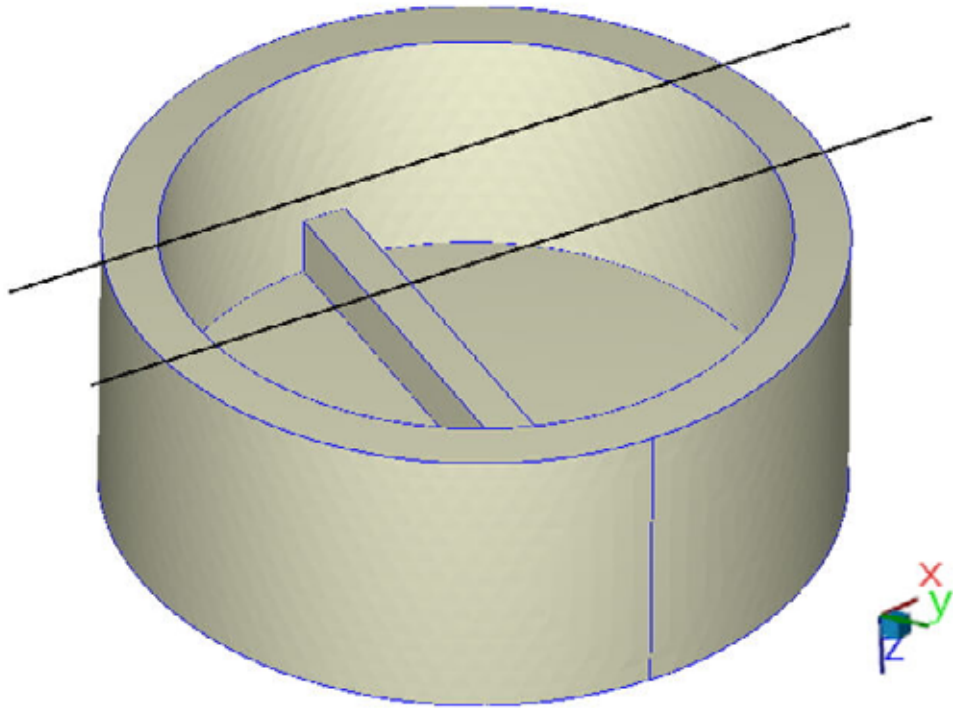
## Step 4. 結果解釋及異型水路效果

透過更貼近產品輪廓之異型水路設計，可以使產品達到更均勻的溫度分佈進而改善積熱。■

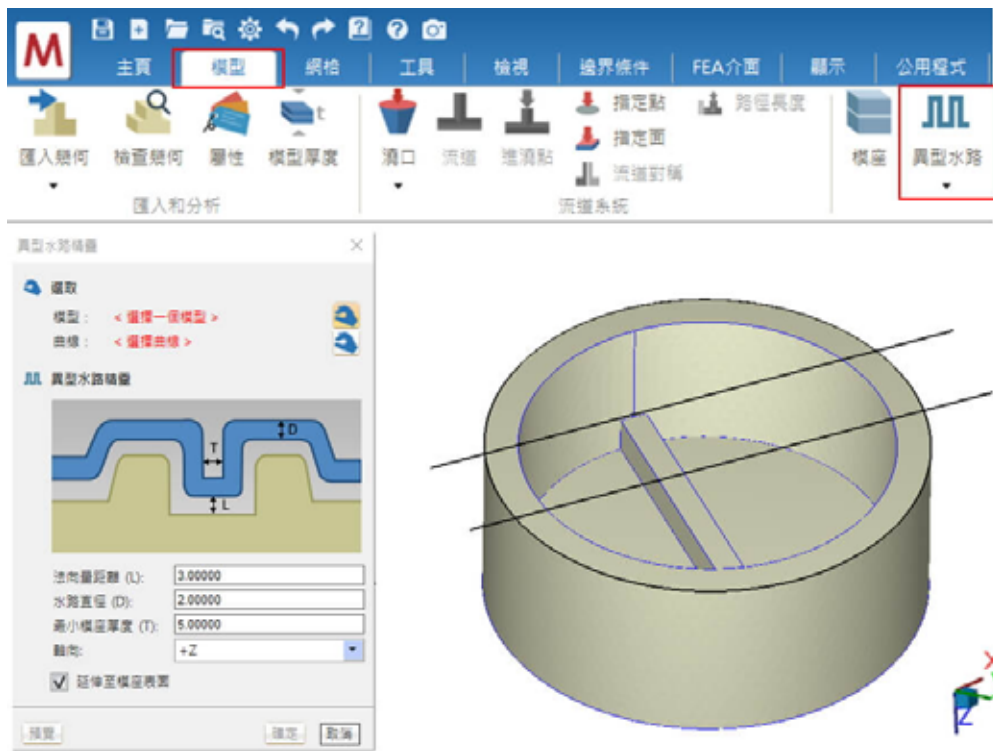
### 資料來源

[1].本文經科盛科技授權後刊登，引自 <https://ch.moldex3d.com/blog/tips-and-tricks/the-conformal-cooling-wizard-have-been-strengthened-to-support-the-conformal-cooling-channel/>

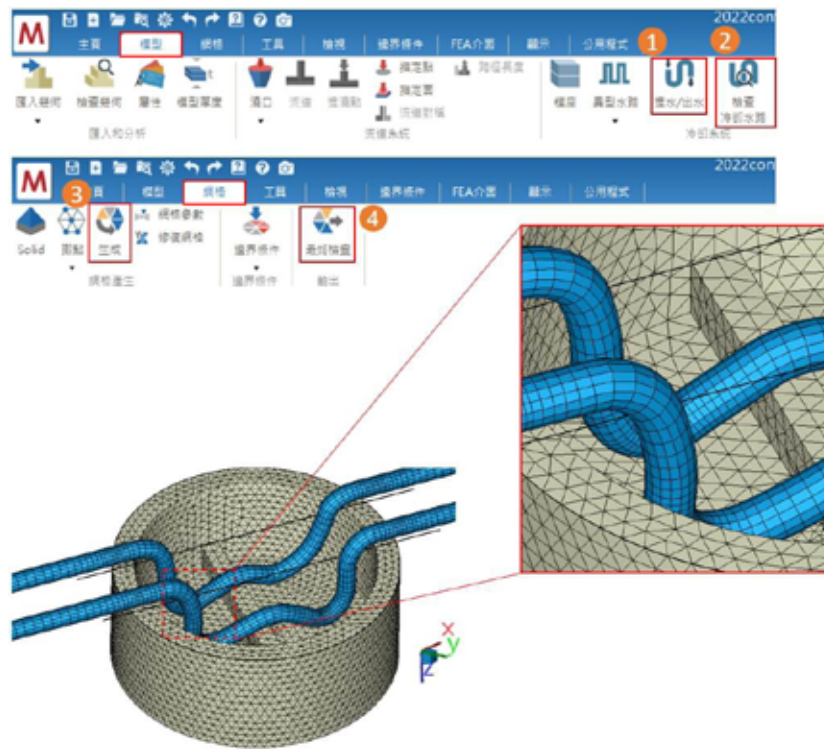
本篇文章經科盛科技授權後轉載



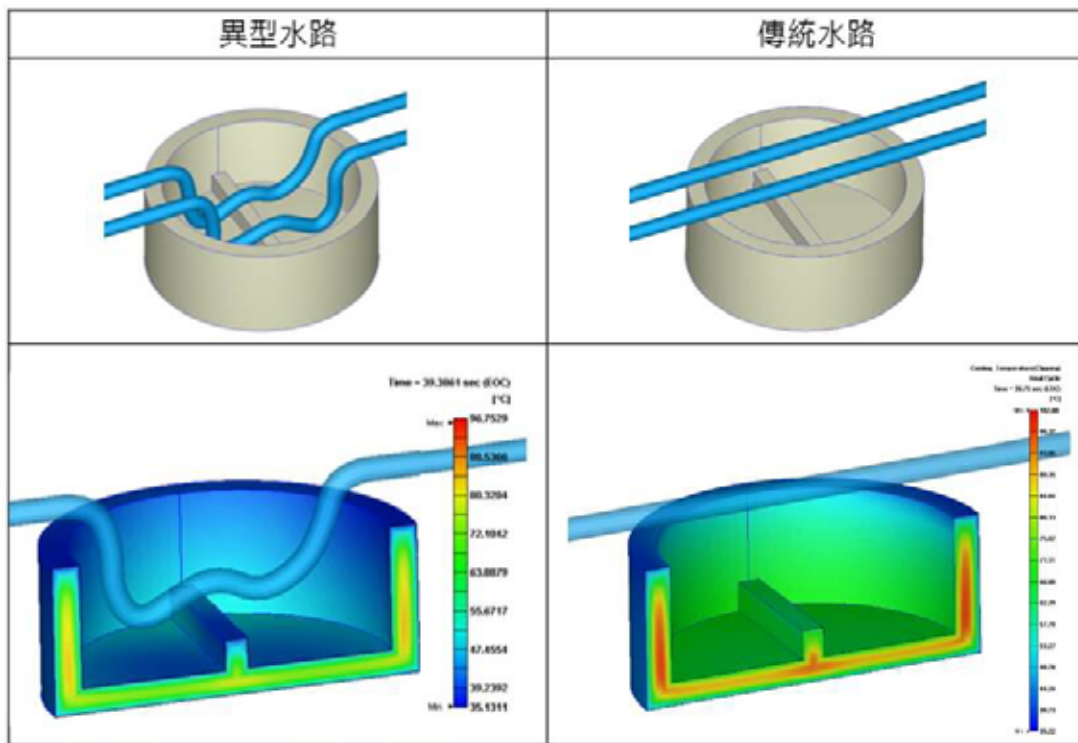
Step 2-1. 繪製 2D 水路路徑



Step 2-2. 建構異型水路



Step3. 完成網格及分析設定



Step 4. 結果解釋及異型水路效果





### 威猛集團

威猛集團是全球塑料行業中，射出機、機械手以及周邊設備製造商的領導者之一，總部位於奧地利維也納。威猛集團在全球 7 個國家擁有 9 個製造基地，在全世界 34 個國家和地區有直屬分公司。

作為先進的射出機製造商和工藝技術專家，威猛集團一直致力於市場地位的進一步擴展。作為模塊化設計的綜合的、現代化的射出技術提供商，威猛公司可滿足現在和將來的射出行業市場需求。

威猛的產品包含機械手及其自動化系統、物料處理系統、除濕乾燥機、微型乾燥機、稱重式和體積式混料機、機邊粉碎機、模溫機、水流量調節器、冰水機和模具除露機等。正因擁有如此廣泛的射出周邊設備，威猛可提供射出工業中，從獨立的工作單元到集成的整廠系統中，所有的塑料生產的解決方案。

威猛集團旗下不同部門之間的整合，實現了各生產線的完全互聯，滿足了客戶對自動化設備和周邊設備之間無縫連接的日益增大的需求。

## 採用液態矽膠和熱塑性塑料生產微型部件

■威猛集團

### 前言

2022 年 11 月 14 ~ 17 日，面向醫療器械供應商和產品開發商舉辦的 Compamed 國際展覽會在德國杜塞爾多夫舉行。威猛巴頓菲爾在 8b 展館 F03 展位通過生產用於高品質微型揚聲器的由熱塑性塑料和液態矽膠製成的膜片，來彰顯其在液態矽膠加工領域的專業知識。

### 微型液態矽膠技術應用——揚聲器膜片

該膜片採用一台 MicroPower15/10H/10H Combimould 多組分微量射出機進行生產，所搭載的單腔模具由奧地利 Starlim Spritzguss 公司提供。

這台多組分 MicroPower 機型配有由螺桿 - 柱塞組成的兩級熱塑性塑料注射單元和由螺桿 - 柱塞組成的兩級 LSR 注射單元，以及集成式轉盤。轉盤攜帶產品在兩個射出單元之間往復旋轉。該機器也適用於潔淨室注射成型，其轉盤完全封裝。用於電加熱、溫度傳感器、水路、氣動抽芯裝置和傳感器以及吹氣閥的所有連接，都緊靠轉盤安裝，從而縮短了與模具的連接線路，提高了機器的用戶友好性。

選用單腔模具是為了展示模具與專為生產微型部件而設計的機器之間的高精度結合。通常，在原型設計階

段就需要製造高成本的多腔模具，唯一的目的是為了達到射出機必需的最低注射量。

由德國 EMT Dosiertechnik 公司提供的 LSR 計量泵是一個 1L 的儲料系統，專為極小計量體積而開發。儲料系統的平穩持續排空，確保了極高的精度和質量穩定性。另一個優勢是，混合段被減至極小，所帶來的特殊好處是，在更換材料時可提高清料速度並最大程度地減少材料損失。■



圖 1：配有 LSR 計量泵的 MicroPower 15/10H/10H Combimould 多組分微量射出機

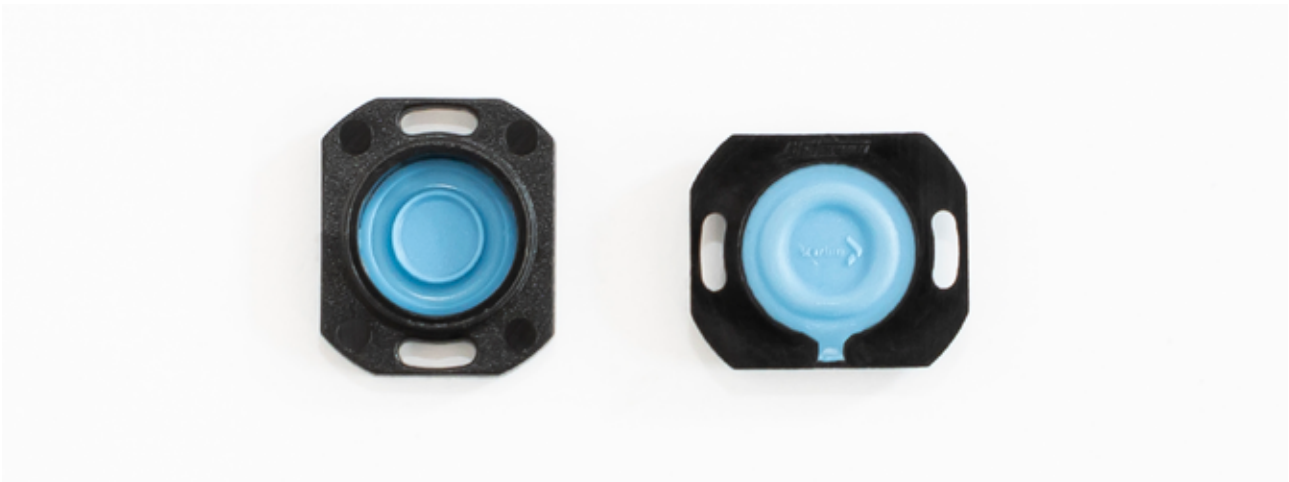


圖 2：由熱塑性塑料和液態矽膠製成、用於高質量微型揚聲器的膜片採用一台 MicroPower 15/10H/10H Combimould 多組分微量射出機進行生產





## 金陽（廈門）新材料科技有限公司

金陽（廈門）新材料科技有限公司總部位於廈門，是一家專注於高分子複合材料研究與運營的科技型公司。產品涵蓋通用塑料、工程塑料、特種工程塑料、日化及包裝等領域，包括阻燃材料、碳纖維增強複合材料、高耐候材料、高導熱材料、可降解材料、包裝材料、離型材料等創新產品，為汽車、家電、家居、醫療衛生、電子電氣、建築環保、軌道交通、航空航天等行業提供創新材料解決方案。

## 「消失的電弧」，如何通過材料實現產氣滅弧？

■金陽新材料

### 前言

電弧是一種氣體游離的放電現象，是電流通過某些絕緣介質（如空氣）所產生的瞬間火花，其最顯著的外觀特徵是明亮的弧光柱和電極斑點。電弧產生過程：

「當電壓或者電流足夠大時，兩個電極在靠近或遠離的過程中，中性質子被游離，電離出導電的電子和離子，維持導電並放出熱量。」

電弧由陰極區、弧柱和陽極區 3 部分組成，持續時間通常不到 20 ms，弧柱核心溫度最高可達 20000°C，能瞬間釋放出巨大的輻射能。電弧如果不能及時熄滅，輕則使開斷故障電路的時間延長，或者使塑膠變形影響下一次開斷，重則燒壞絕緣材料，更可能引發爆炸、造成火災，危及人員及設備安全。

### 電弧危害大，如何安全快速滅弧？

電弧多產生於開關分斷電路的瞬間。研究發現，當電路中的電流超過最小起弧電流、觸頭上的電壓大於最小起弧電壓時，觸頭分開必然產生電弧。此時，觸頭雖然分開了，但電路並沒有斷開，因此需要在電路中安裝滅弧裝置，使電弧能夠迅速地在很小的封閉容器內被熄滅，保證用電安全。

熄滅電弧的常用辦法有速拉滅弧法、冷卻滅弧法、吹

弧滅弧法、真空滅弧法等等，其中吹弧滅弧法最為經濟和主流，而氣吹滅弧則是吹弧滅弧法中最常用的一種。氣吹滅弧是利用氣體縱向或橫向吹動電弧，使電弧受到強烈的冷卻和拉長，從而降低電弧中的電場強度，使電弧快速熄滅。

### 氣吹滅弧好，它所需的氣體從哪兒來？

答案是：「產氣材料」。產氣材料常以滅弧片、滅弧骨架、滅弧罩、滅弧側板等形式應用於直流微型斷路器、直流塑殼斷路器和直流框架斷路器。這是因為直流電路沒有自然的過零點，電弧更難熄滅，因此，在直流開斷過程中，斷路器的滅弧設計成為首要考量因素，而產氣材料的選擇則是滅弧設計的重點，直接決定了斷路器的直流開斷能力。

那麼，產氣材料是如何產生氣體形成氣吹的呢？原理如圖 2 所示，通過在滅弧室內放置產氣件，產氣件經電弧侵蝕後產生大量氣體，使滅弧室內的壓強升高，與外部形成壓力差，最後通過出氣口形成對電弧的氣吹。

值得注意的是，產氣材料如選擇不當，也可能使滅弧室因壓力過大而破裂，影響開斷性能的提高，因此，選擇產氣材料時，應考慮最小限度的壓力增大和最大



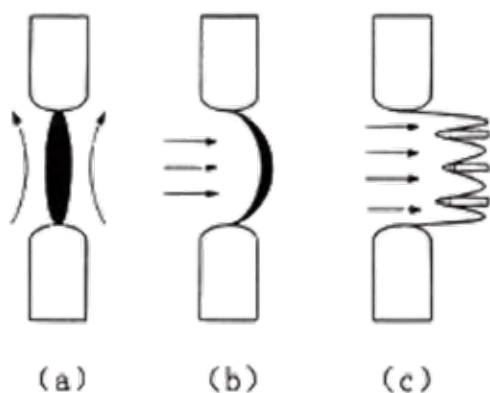


圖 1：吹弧滅弧法。(a) 縱向吹弧；(b) 橫向吹弧；(c) 有隔板的橫向吹弧

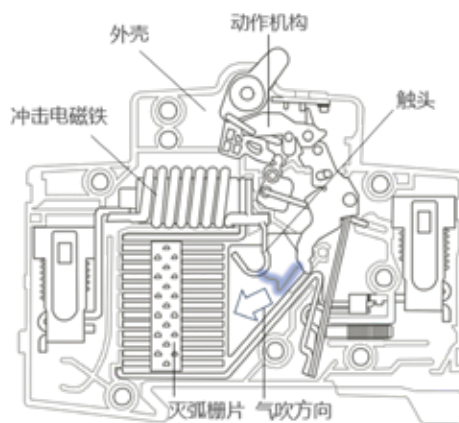


圖 2：氣吹滅弧示意

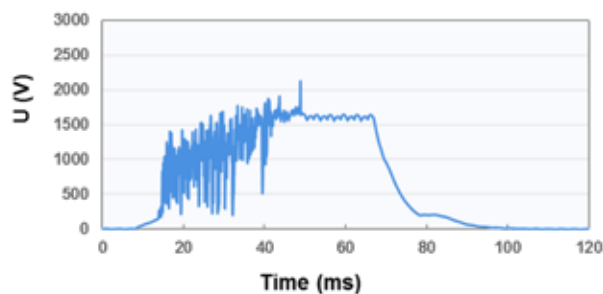
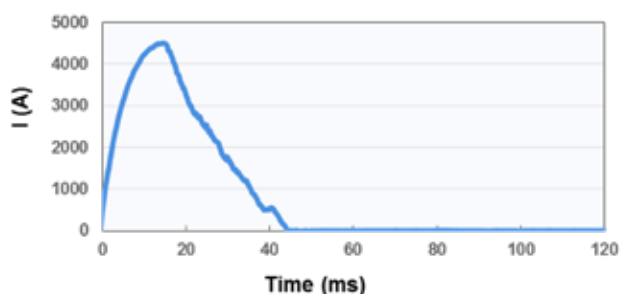


圖 3：金陽 H3G20K 作為塑殼產氣滅弧側板進行短路分斷測試中電壓電流的變化（單極分斷測試，試驗電壓 DC 1500 V，短路電流 5 kA）

限度的開斷性能提升。

### 材料影響大，產氣材料怎麼選？

市面上的產氣材料很多，目前應用最廣泛的是 PA（尼龍），它具有產氣量大、擊穿電壓高、殘炭少、力學性能高和耐溫性能優良等優點。作為熱塑性材料，PA 也是首選的燒蝕材料之一。它不僅能快速受電弧侵蝕產生大量氣體，且氣體中還含有導熱性較好的 H<sub>2</sub>（氫氣），能夠快速冷卻電弧，當電流過零後，H<sub>2</sub> 還能提高弧隙介質恢復強度。

基於此，金陽新材料全新研發了產氣滅弧尼龍材料（牌號 H3G20K、BG20C 等），擁有產氣量大、殘炭少 / 不出油、耐高低溫、高介電強度、高剛性、阻燃等優異性能，滅弧效果好，具有較高的直流開斷能力。

為了支援「雙碳」目標和向現代能源體系轉型，近年來中國風能、太陽能光伏等低碳能源得到快速發展，直流應用需求不斷增加，直流斷路器行業發展迅猛。而氣吹滅弧室作為其中的核心元件也得到廣闊的發展機會，這也使得應用產氣材料幫助滅弧勢在必行。■



### 林秀春

- 科盛科技台北地區業務協理
- 科盛科技股份有限公司 CAE 資深講師
- 工研院機械所聘僱講師

#### 專長：

- 20 年 CAE 應用經驗，1000 件以上成功案例分析
- 150 家以上 CAE 模流分析技術轉移經驗
- 射出成型電腦輔助產品，模具設計 · CAD/CAE 技術整合應用



## 第 80 招、Moldex3D 電腦試模看得見真好 【評估塑件設計與模具設計篇】

■ Moldex3D / 林秀春 協理

### 【內容說明】

#### Moldex3D 電腦試模

現場數據不易看，要多看就要多花錢（裝 Sensor）。此外，產品設計與模具製造的好壞需等待約 40 天後才有數據能夠用以判斷是否有達到預期成效，並且能看到的數據十分有限。電腦試模的優勢條列如下：

- 電腦試模只需要 2 天；
- 可以看幾十筆數據；
- 快速評估塑件設計與模具設計；
- 公司內大數據累計，應用數據達到快速經驗傳承。

#### 電腦試模讓您提早看見設計品質的好壞

塑膠製品設計與模具製造的好壞需經過現場試模才能看到產品是否合乎規範？但花了大筆經費與人力並等待 30~40 天後，現場能看到什麼數據？看到變形、短射，資料非常有限，而且因為相關鋼材加工已經完成（機構、CNC、放電、咬花、熱處理等），然後在現場看到不良產品，才檢討是誰的錯，完全是一翻兩瞪眼也不易修改，老闆心急如火，花了那麼多的費用與人力卻沒辦法達到預期的效益，真的非常辛苦。

為了避免上面所提到的狀況，透過 Moldex3D 提前 30 到 40 天進行電腦試模，從產品設計、模具製造，甚

至虛擬的機台成型過程中看到現場所看不到的數據，讓塑件整體體積的溫度內外部看得見，讓整副模具溫度剖面每個區域都切得到，產品精密尺寸與生產成型週期是由溫度決定一切。

此外，還有更多現場看不到的資訊，如纖維配向、動態收縮區域、公模與母模隨時間降溫或局部區積熱等，都是可以提前預測觀看的數據，透過這些數據發現問題並檢討，以提前進行 CAD 設計的修改，確保能夠順利達成 30 到 40 天後的良品生產目標。

#### 專為模具設計與塑膠成型設置的 Moldex3D iSLM 數據管理平台

透過知識庫大數據管理系統，可以有效協助用戶大量累計電腦科學試模的數據，是設計、製造與生產的知識庫，效益非常顯著。iSLM 平台透過將成功與失敗的案例知識彙整成公司內部的經驗與傳承，新人培訓可以快速有效率省時省力（建立完整系統，易學易用）。

在數據資訊時代下，大數據都是管理內部所必要的資訊，也是未來的基本平台。現在這種人力吃緊，新人不好找也不好培訓的大環境中，利用正確的工具將有助於幫公司省時省力，甚至創造競爭力。■

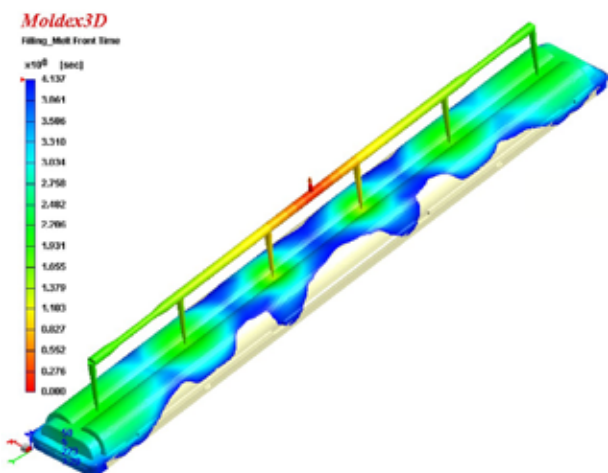


圖 1：流道與澆口設計流動不平衡圖

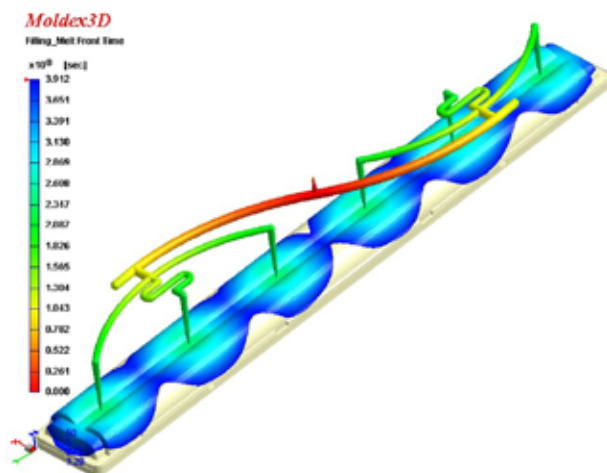


圖 2：流道與澆口設計流動平衡圖

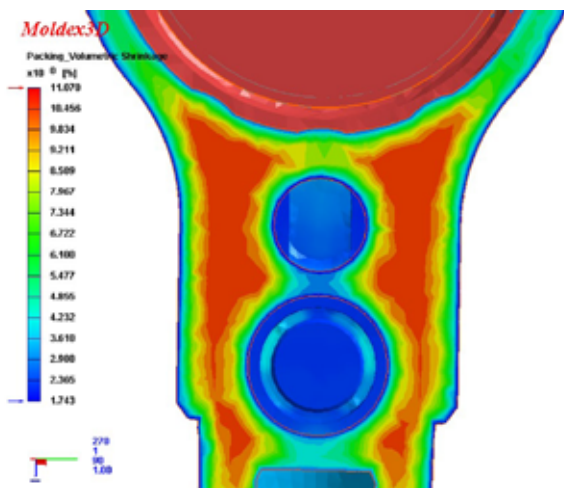


圖 3：產品剖面體積收縮不均勻分佈圖

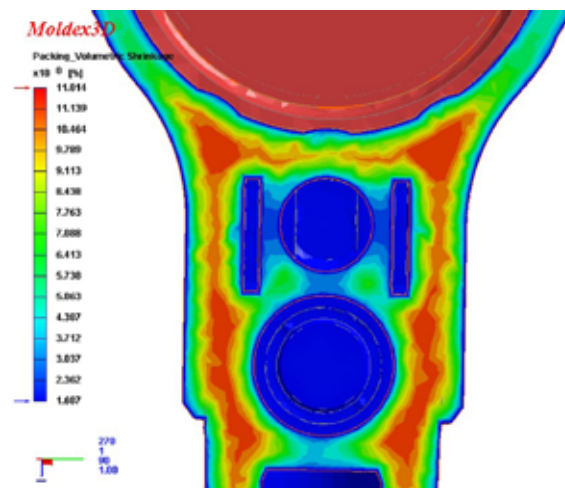


圖 4：產品剖面體積收縮分佈均勻圖

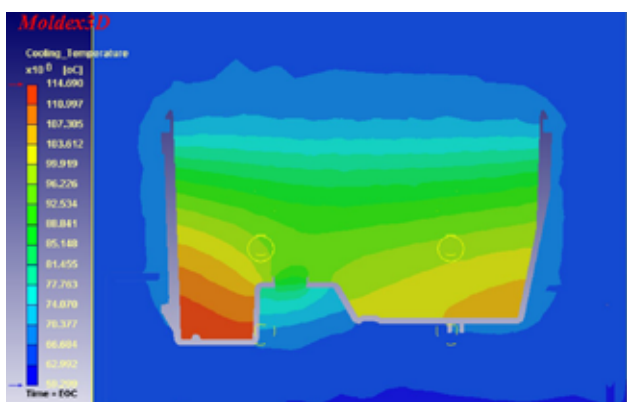


圖 5：模穴內公模的冷卻積熱分佈圖

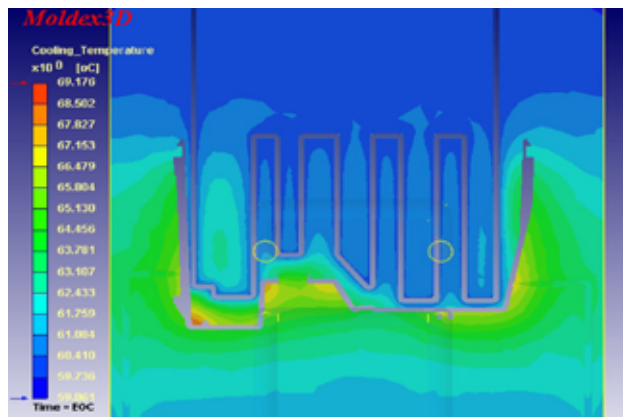


圖 6：模穴內公模的冷卻分佈圖



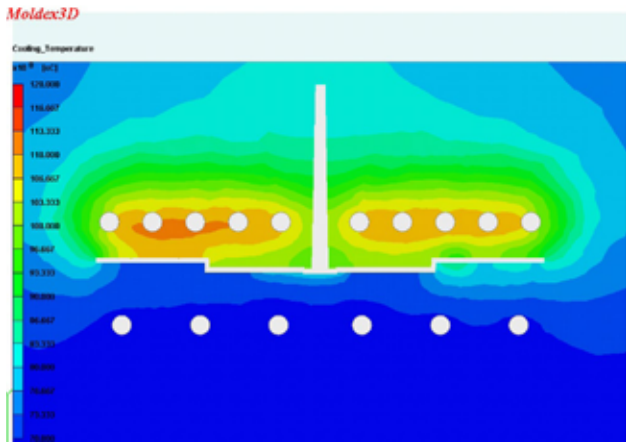


圖 7：模穴內公模與母模的溫度圖

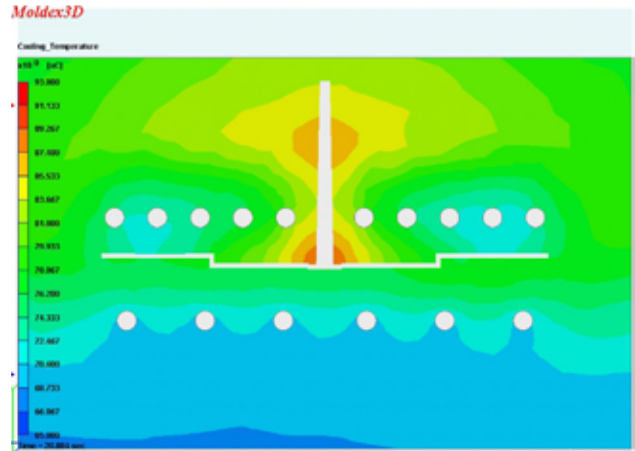


圖 8：模穴內公模與母模的溫度圖

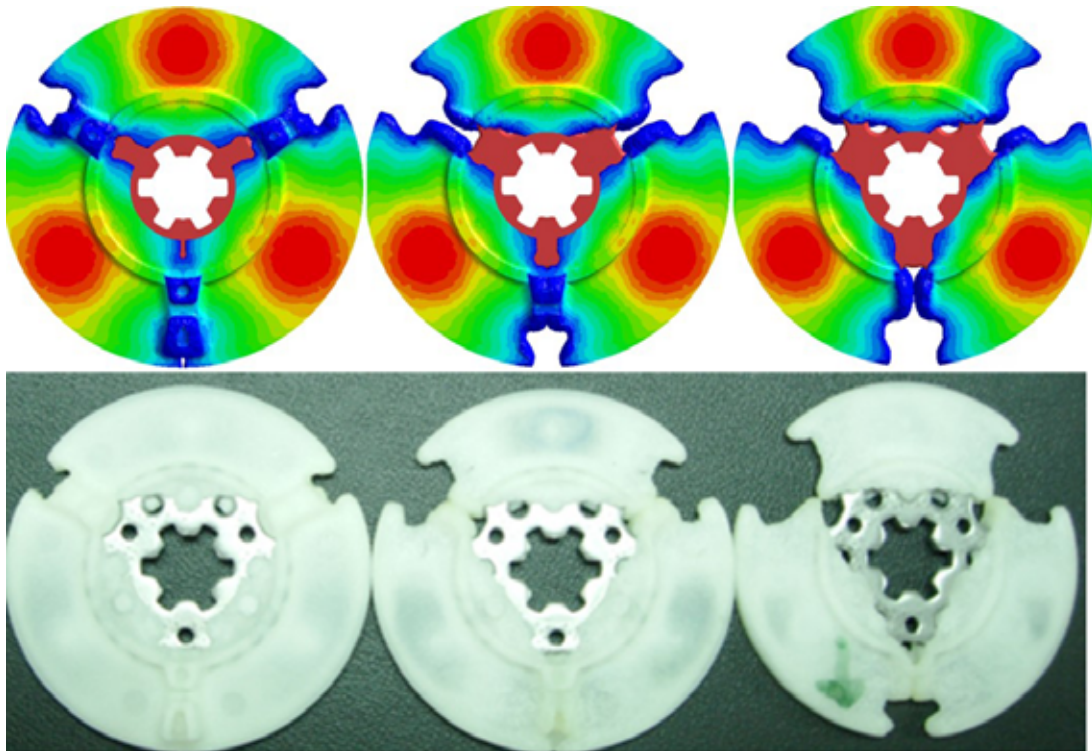


圖 9：二天與四十天的產品短射比較圖

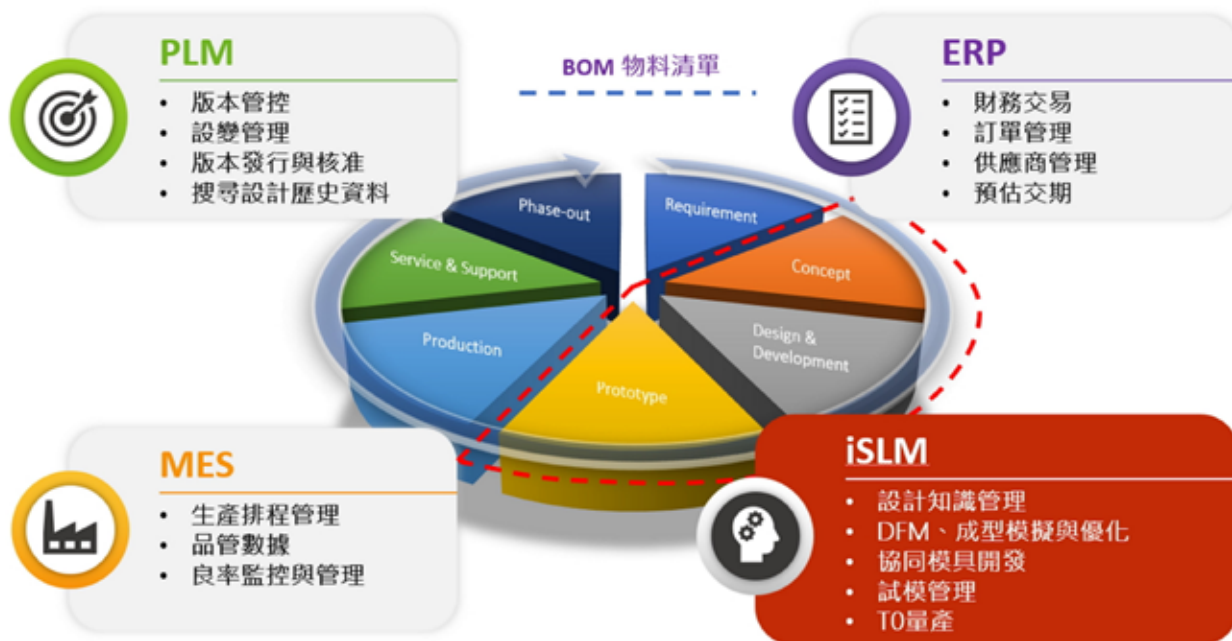


圖 10：製造業常用的 PLM 系統雖可綜觀產品生命週期，iSLM 可追蹤優化過程並獲取成型知識的完整功能



## 林宜璟 (JeffreyLin)

- 現任職於宇一企業管理顧問有限公司總經理
- 學歷：台灣大學商學研究所企管碩士、交通大學機械工程系學士
- 認證、著作及其他能力：
  1. 認證：DISC 認證講師 (2005 年受證)
  2. 著作：《為什麼要聽你說？百大企業最受歡迎的簡報課，人人都能成為抓住人心高手！》(木馬出版社出版)
  3. 緯育集團 (<http://www.wiedu.com>) 線上課程，「管理學院」「業務學院」內容規劃及主講者

## 言教不如身教？

■宇一企管 / 林宜璟 總經理

### 「言教」不如「身教」？假的！

所謂成語，就是「以全概偏」的簡化。很多成語聽聽可以，有時拿來教訓別人也可以，但就是經不起精細的推敲。

你說等一下，成語不是「以偏概全」嗎？寫錯了吧？沒有錯！「以偏概全」是把特例當通則，這是一種謬誤。但「以全概偏」則是用過於簡單的原則概括所有現象，這是另一種謬誤。

不精準成語的錯誤是第二種。而麻煩的是，這類成語說多了會成為說的人的思考捷徑，甚至自我暗示，然後思考就變得粗糙而武斷了。

作為培訓顧問，我認為在培訓領域最誤人子弟的一句成語就是「言教不如身教」。這句話不是錯，而是要看教的是什麼？以我的看法，教「價值觀」、「理念」這種層次的東西，的確言教不如身教。但如果教的是「技巧」，言教就重於身教了。

### 教技巧：重點在言教

以我的觀點，當我們說一件事情是技巧時，就代表這件事情：「可被分解、可被分析，且可被複製」。

如果你想學游泳，教練告訴你學好游泳沒有別的辦法，就是多看多體會。然後要你仔細看他游個 1000 公尺，你能接受嗎？你願意付學費嗎？當然不！

對於技巧的學習，言教重要，且必要。只有透過精準的語言，把複雜的連續動作，變成一步一步，可分解、可解析的分解動作，才能夠讓學習者在最短時間學會。所以負責任的游泳教練，一定教分解動作。

但是我看過好些業務主管帶新進業務，就是用那種不靠譜的游泳教練的教法。「好好跟著我，多看看我怎麼跟客戶談，怎麼砍訂單的！」。如果這樣都學得會，只能說學的人資質太好，萬中選一，是不世出的練武奇才。

那如果要好好的教分解動作，該怎麼教呢？以我的經驗可以分成以下三個分解動作。（你看！要教別人怎麼教，也是要用分解動作的。）

- 分解動作一：說明步驟；
- 分解動作二：說明步驟及要點；
- 分解動作三：說明步驟、要點及理由。

進一步說明如下：





(圖片來源：Freepik.com)

## 1. 說明步驟

先將大動作分解成小動作。比方當年我學游泳時，教練就說蛙式的腿部動作分成 3 個，分別是「收、分、夾」。

還有一個例子是之前疫情期間大家特別熟悉的洗手正確動作：「內、外、夾、弓、大、立、腕」。

## 2. 說明步驟及要點

接下來是一邊講步驟，一邊說明步驟的要點。要點包含三個重點：

- 怎樣才叫做對；
- 提醒容易做錯的地方；
- 能做得更好、更快的秘訣。

## 3. 說明步驟、要點及理由

步驟和要點說明完後，學的人應該已經知道「如何」(how)。但如果要讓學的人記憶深刻不忘，並培養自我學習、精益求精的能力，則還要告訴他們「為何」，也就是 why。所以這部份包含了：

- 告訴他們這樣做的原因；
- 提問以確保他們知道原因。

如果學習的人能做得出來動作 (how)，還講得出來原因 (why)，那就表示應該學會了。

這也說明了為什麼頂尖運動選手還需要教練的「言教」；而企業界也常需要請明明不了解公司運作細節的外部培訓顧問，去對實務工作經驗豐富的學員上課。因為運動選手和公司同仁，不管他們如何優秀有經驗，他們都需要藉用外部的眼光，幫他們做有系統的動作分解，並進而找出可以改善、優化的環節。

## 教價值觀和理念：重點在身教

但是如果要建立某種價值觀、理念，就真的要靠身教了。比方希望團隊「誠信」，那絕對不是看領導者說了什麼，而是看領導者做了什麼。要別人誠信而領導者自己招搖撞騙，團隊成員一定是有樣學樣。

很多企業想建立某種企業文化。而企業文化也是「做」出來的，不是「說」出來的。

「什麼是企業文化？」這有很多不同版本的說法。但我最喜歡、認為最接地氣的一個版本是：「所謂的企業文化就是，如果你的親弟弟或親妹妹進了你工作的



(圖片來源：Freepik.com)

公司，他們問你在這家公司裡要如何升官發財？而你的回答就是你所認為的企業文化。」

你的回答和公司白紙黑字的制度、規定，或是 SOP 都無關。你的回答是你觀察身邊的人的所作所為之後整理出來，你認為在這公司裡，真實的行為和結果的因果關係。

一個要大家誠信，自己卻滿嘴謊言的人能當上公司高階主管，其他團隊成員的解讀一定是：「你看！就是要說謊才能升官。別管他怎麼說，我們就也照樣這樣幹吧！」

這種跳脫語言，對行為和後果之間真實關連的認知，才是企業文化。

建立價值和信念時，團隊成員不是看領導者怎麼說，而是看他怎麼做。

## 結語

所以很多領導者的問題，就是：

- 該言教的時候講不清楚，一直做；

- 該身教的時候又做不到，一直講。

你想讓你的團隊表現更好嗎？試試在不同的情況之下，適當的切換言教和身教吧！■

## 「PARTS談判思維」Line社群

- 讓你生活變得更美好





# 優 份 科 技

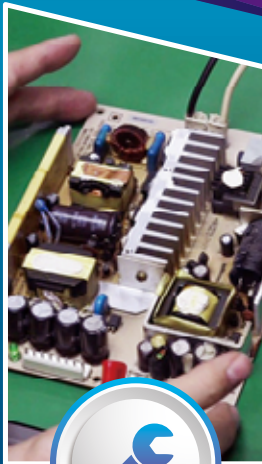
## 給你最優的品質與服務

以專業資訊相關軟硬體、機房建置及各類軟體研發設計，  
並配合多家廠商，引進多項戶外防水電子產品與戶外裝備。

優份科技提供AOI(自動光學檢查)設備計畫、客製化設計、專案開發、  
專業技術顧問諮詢、高精密儀器與設備銷售等服務，大至一台精密的設備，  
小至一個微小的零件，為客戶提供最高品質的商品。



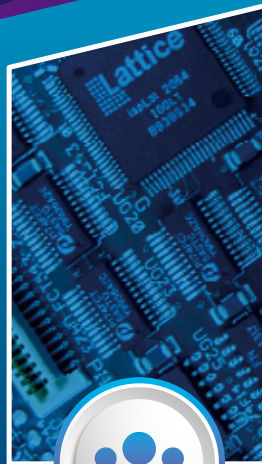
產  
品  
銷  
售



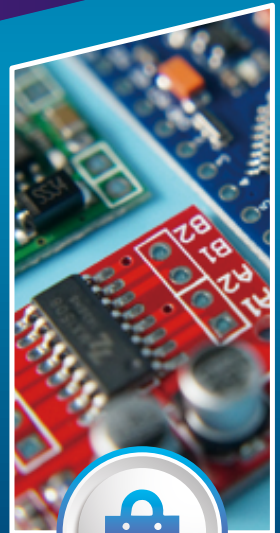
設  
備  
維  
修



設  
計



顧  
問  
諮  
詢



零  
物  
件  
銷  
售

廣告編號 2023-10-A09

優份科技有限公司

電話:03-5500557

E-mail:yoe@yoetech.com.tw

地址:新竹縣竹北市中和街219號



# ERP System 雲端 ERP 擴充企業版圖



集研發、諮詢、銷售、實施和服務於一身，解決客戶各個面向的問題，擁有五千多家成功客戶的經驗，帶領客戶與時代並進。致力於自動化的研發，並納入了內稽內控和防錯防漏的管理思想，更專精於製造產業，不斷採用VPN、條碼、雲端等新技術，並推出月租的銷售模式，讓企業降低成本開銷，使我們ERP軟體的優勢更加突出，為國內外眾多中小企業所喜愛。



## MES製造執行系統

建立亞洲工業4.0標準，符合亞洲企業設備多樣化、彈性生產、供應鏈整合的特性。



## ERP 企業資源規劃

跨國雲端ERP，前中後台營運數位化，創造全新的價值，增加市場的競爭力。



## 工業網際網路系統

整合平臺設備機聯網連結到MES系統與戰情看板，完善解決DT、OT、IT資訊整合。



## BI 商業智慧

企業數據整合，準確快速的提供資訊與決策依據，有效協助企業業務經營決策。



## AI人工智慧

AI 技術開發與運用。產銷優化、品質確保、智慧保養、工安環保、降低成本五大面向。



## ESG節能減碳

ESG為一種衡量指標，涵蓋環境、社會、公司治理(ESG) 三大面向，朝向碳中和實踐。

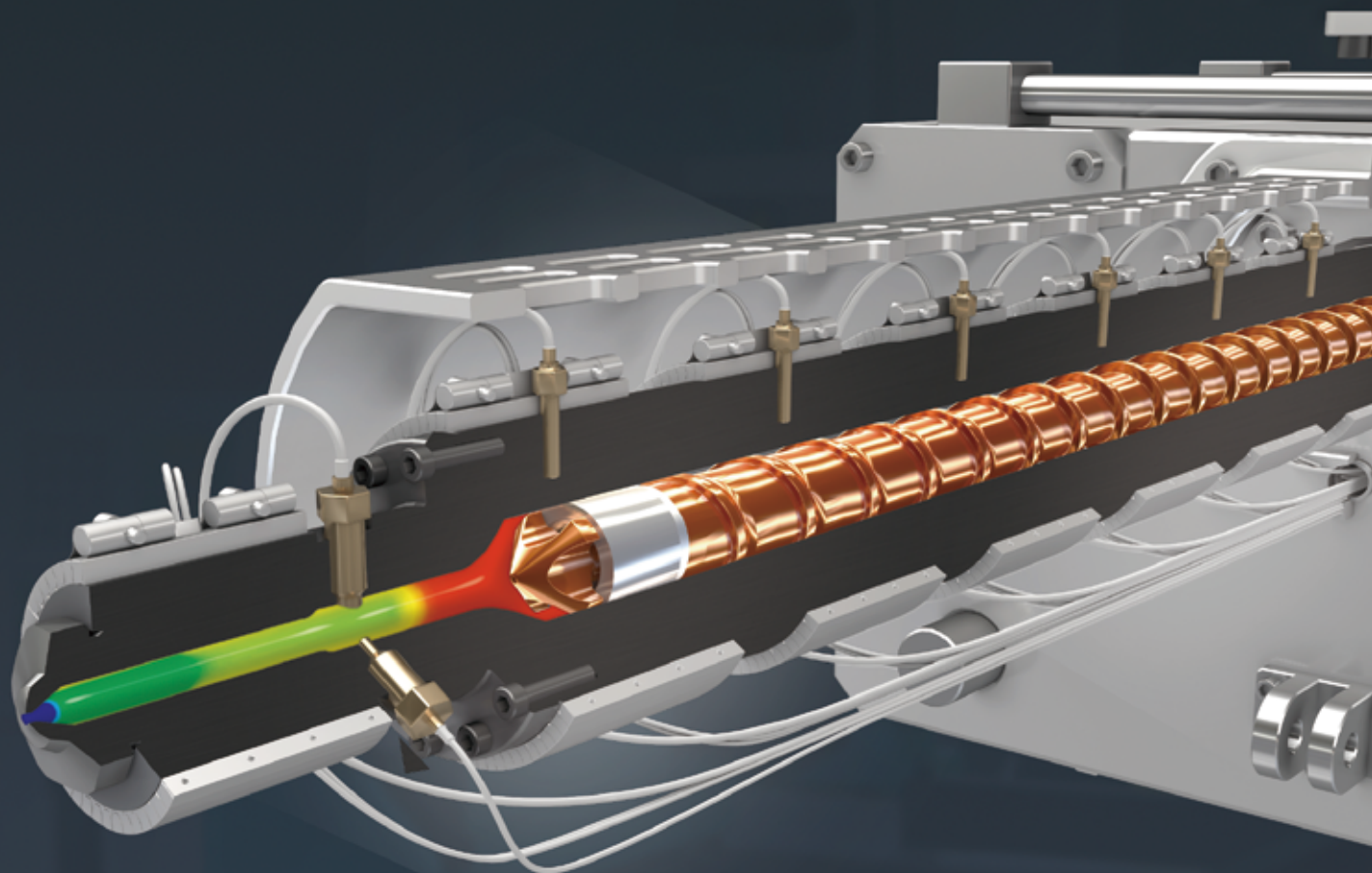


# Moldex3D

## 虛實整合 數位分身

- 智慧製造 模流分析軟體新典範 -

Moldex3D是專為智慧設計和製造所打造的新一代塑膠模具成型模擬方案，用更真實的模擬分析，快速轉化洞察為行動，提升產品競爭力。透過Moldex3D模擬分析，產品工程師可以更完整地整合實體和虛擬世界，打造更真實的模擬情境，提升分析可靠度，縮短模擬和製造的距離。



廣告編號 2023-10-A11  
[www.moldex3d.com](http://www.moldex3d.com)



# 2023 DMP大灣區工業博覽會

資料來源：DMP 大灣區工博會官網



舉辦日期：2023年11月27日(一)~11月30日(四)

展覽地點：深圳市寶安區福海街道展城路1號  
深圳國際會展中心(新館)

活動網站：<https://www.dmpsz.com/>

## 前言

DMP 大灣區工博會，展會前身為原 DMP 國際模具、金屬加工、塑膠及包裝展（簡稱：11 月東莞厚街 DMP 展），於 1999 年創辦，2019 年全面升級為 DMP 大灣區工業博覽會，展會截止目前經歷了 20 多年發展，現已成為工業製造領域一年一度的專業展會。

## 展會介紹

DMP 大灣區工博會，以技術和創新為主導，是致力於連接科技與工業，賦能行業和全生態的合作平臺。展品囊括數控機床、數控刀具、智能製造系統、工業機器人、鈹金激光、塑膠及包裝、模具製造、工業互聯網、工業測量、3D 列印、精密零件、數字化工廠、人工智能、壓鑄鑄造、五金工具、金屬材料等各個領域，涵蓋原輔材料、關鍵零部件、先進製造裝備、整體解決方案、個性化定制等智造產業鏈條全球創新技術、產品，以規模之大、品類之全、觀眾之多，深得業界信任，成為粵港澳大灣區先進製造業技術創新的

風向標。

2023 年 11 月 27-30 日，DMP 大灣區工博會（第 24 屆 DMP 國際模具、金屬加工、塑膠及包裝展）將於深圳國際會展中心（新館）舉行。展示規模達 24 萬 m<sup>2</sup>，聚焦於針對不同行業的數字化、智能化、個性化創新技術及解決方案。

## 展會三大優勢

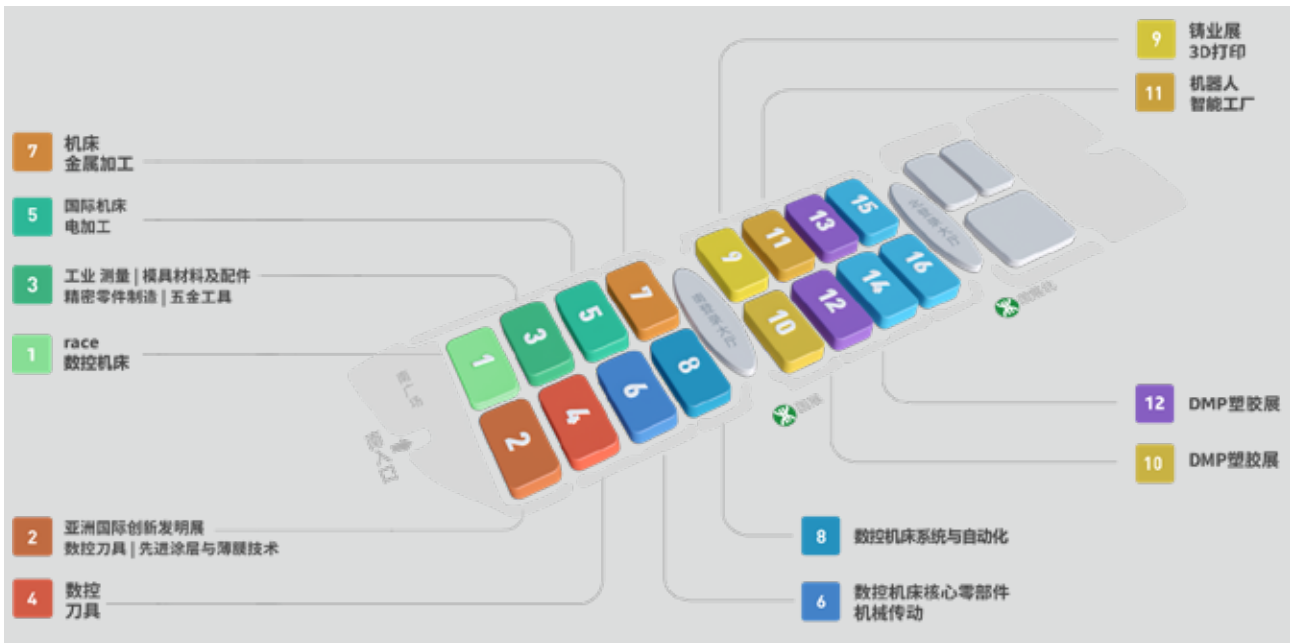
### 前瞻性與創新性

聚焦產業發展與創新，更多新產品、創新技術、新服務、新工藝、新應用實現「全球首發、中國首展、華南首展」，展現未來工業製造縮影。為參會觀眾帶來最前沿、最全面、最有價值的新品技術，從而給參會觀眾帶來了深度啟發和思考。

### 高端論壇連場，產業需求透視

多場高峰論壇、研討會、產品發佈會、技術配對和工藝研習班等，政府領導、專家學者、行業精英等群英





**圖 1：2023 大灣區工博會展會現場設置了 12 大展館，8 大展區，覆蓋數控機床、自動化及機器人、機械傳動、壓鑄及鑄造、精密射出、模具製造、五金工具等行業**

薈萃，交流發展熱點，剖析發展痛點，探討發展難點，彙聚智慧，群策群議推動製造業高效發展。

### 採購需求強勁，領域涵蓋廣泛

吸引來自 100 多個國家及地區的機械製造、精密加工、3C 電子、汽車及軌道交通、模具製造、塑膠及包裝、非標設備及自動化、生物及醫療器械等各領域從業者，超 10 萬人與會，直面交流，構建國際化人脈，挖掘商機，合作共贏。

### 結語

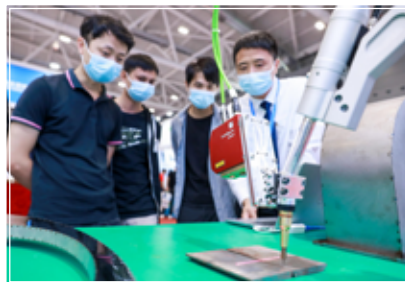
2023 年 DMP 大灣區工博會，將展示來自德國、韓國、日本、美國、瑞典、法國、意大利、瑞士、荷蘭、馬來西亞、澳大利亞、中國大陸、中國香港、臺灣等國家和地區的 10000 餘件創新展品，12 大展館 240,000 m<sup>2</sup>將全方位多維度展示全球、數控機床、數控刀具、工業機器人、精密射出、模具製造、工業互聯網、工業測量、3D 列印、精密零件、數字化工廠、壓鑄鑄造、

五金工具、金屬材材料等多個領域的新成果、新應用、新模式、新趨勢，助力企業實現降本增效、高質量發展。大灣區工博會勢必成為 2023 年粵港澳大灣區重大工業科技創新載體佈局最集中、創新動能彙聚最迅速最大的工業展會平臺。■



博覽會花絮影片

# 歷屆展會集錦



模具與成型智慧工廠雜誌 (ACMT協會/會員月刊)

圖片引用自 <https://www.dmpsz.com/photo/>



# 高端工业大秀 | 制造业全产业链 展示先进技术新产品

# DMP 2023

# 大湾区工业博览会 GREATER BAY AREA INDUSTRIAL EXPO

2023年11月27-30日 深圳国际会展中心(宝安新馆)  
Shenzhen World Exhibition & Convention Center

### 覆盖行业：

精密零件加工、模具制造、3C电子、  
家电、  
汽车、铸造、压铸、轨道交通、  
生物医疗、建材、新能源、  
机械制造及配件、  
非标设备及自动化、  
创新专利发明、  
塑胶及包装、  
工业互联网

### 主题专区：

- 1 FuMaTech | race
- 2 亚洲国际创新发明展  
数控刀具 | 先进涂层与薄膜技术
- 3 工业测量 | 模具材料及配件  
精密零件制造 | 五金工具
- 4 数控刀具
- 5 国际机床 | 电加工
- 6 数控机床核心零部件 | 机械传动
- 7 机床 | 金属加工
- 8 race 国际机器人与自动化展览暨会议  
数控机床系统
- 9 铸 铸业展 | 3D打印
- 10 DMP 塑胶展
- 11 塑胶展 | 工业互联网 | LogiMAT China
- 12 DMP 塑胶展

参展查询：

**IR 讯通展览公司**  
Paper Communication Exhibition Services

**ufi**  
Approved Event

微信关注号：  
DMP工博会



展会网站: [www.dmpsz.com](http://www.dmpsz.com) 电话: [info@paper-com.com.hk](mailto:info@paper-com.com.hk)

香港 852-27639011 | 广州 020-87612356 | 上海 021-63045419 | 深圳 0755-22671503 | 东莞 0769-85981968

廣告編號 2023-10-A12



# 金屬粉末射出成型技術：塑造未來的材料工程

型創科技 / 羅偉航 應用工程師

## 前言

金屬粉末射出成型 (Metal Injection Molding, 簡稱 MIM) 是一項先進的製造技術, 它將粉末冶金和塑膠射出的優勢相結合, 為各種應用領域提供了卓越的解決方案。本文將介紹 MIM 技術的關鍵方面, 從材料選擇到品質控制, 以及它的潛在應用領域和可持續性考慮。

## 材料選擇和準備

MIM 的成功始於對粉末材料的精選。通常, 金屬粉末需要經過特殊處理, 包括球磨、精煉和合金化, 以獲得所需的物理和化學性質。合適的粉末選擇對成型部件的性能至關重要。不同的金屬和合金可用於滿足各種應用的需求, 如不鏽鋼、鈷基合金和鎢合金等。

## 射出成型工藝步驟

金屬粉末射出成型的核心工藝步驟是混合、充填、燒結和冷卻。這些步驟在製造高精度、複雜形狀零件方面至關重要。

## 混合

混合是 MIM 工藝的第一步, 它需要將金屬粉末與有機黏結劑均勻混合, 形成可射出的混合物。這一步驟的關鍵在於確保材料的均勻性, 因為不均勻的混合會導致零件的不一致性。混合通常在球磨機或其他專用設備中完成, 確保顆粒尺寸分佈均勻且粒子充分分散。

## 充填

充填是將混合物射出進模具的過程。射出機使用高精度的控制系統, 以確保混合物均勻地填充模具的空腔。充填過程需要考慮材料的流動性和黏度, 儘量使金屬粉末混合物在模穴內以均勻的速度進行填充, 避免剪切率的變化導致的外觀黑線問題。產品的設計也起到關鍵作用, 因為它很大程度的決定了金屬粉末的走向以及是否有堆積的可能。

## 燒結

燒結是 MIM 工藝的關鍵步驟之一。在充填後, 零件需要在高溫下進行燒結, 以去除聚合物並形成密實的金屬結構。這一步驟通常在氫氣氛圍中進行, 以防止氧化。燒結溫度和時間是根據材料的類型和零件的要求進行精確控制的。在燒結過程中, 金屬粉末顆粒通過擴散結合, 形成堅固的結構。

## 冷卻

燒結後, 零件需要冷卻到室溫。冷卻過程的控制也很關鍵, 因為過快或不均勻的冷卻可能導致變形或產生內部應力。通過控制冷卻速率, 可以獲得良好的材料性能。冷卻後的零件經過一系列後處理步驟, 如拋光、研磨和電鍍, 以進一步改善表面品質和尺寸精度。

總的來說, 金屬粉末射出成型的射出工藝步驟是一個高度複雜的過程, 需要精確的控制和監測。每個步驟都對最終零件的性能產生重大影響。因此, 製造商需



圖 1：金屬粉末示意圖（引用自 <https://www.smartmolding.com/23-04c02/>）

要投入大量的研發和工程資源來優化每個工藝步驟，以確保產品的品質和性能達到預期水準。

### 品質控制和檢測

確保 MIM 零件的品質是至關重要的。品質控制步驟包括檢查混合物的均勻性、射出零件的尺寸和形狀以及燒結後的密度。X 射線檢測、CT 掃描和金相分析等先進技術用於檢測隱藏的缺陷和確保最終產品的一致性。

### 應用領域和前景

MIM 技術在各種應用領域都有廣泛的用途。由於該技術的工藝步驟可以在一次生產週期中生產多個零件，從而提高生產效率，降低成本，適用於大規模生產以及需要高精度和複雜形狀零件的應用。在醫療行業，它用於製造複雜的外科工具和植入物。在航空航太領域，MIM 零件可以減輕飛機結構的重量。汽車工業也受益於 MIM，用於製造發動機零件和傳動系統元件。未來，MIM 有望在新興領域如可穿戴技術和 3D 列印的金屬材料製造中發揮更大作用。

總結而言，金屬粉末射出成型技術代表了製造業的一

項重要創新。通過精選材料、優化工藝和嚴格的品質控制，MIM 提供了高度複雜且高性能的零件製造解決方案。隨著可持續性意識的提高，MIM 有望繼續推動製造業向更環保和高效的方向發展，塑造未來的材料工程。■

# 重視PIM每個製程環節， 提升成型品質與效率

型創科技 / 王海滔 應用工程師

## PIM 簡介與優勢

粉末注射成型 (PIM) 是一種製造微型高精度金屬或陶瓷部件的技術。在 PIM 中，金屬或陶瓷粉末首先與黏合劑混合，然後注射成型、通過燒結緻密化得到產品。PIM 技術與傳統工藝相比，它具有精度高、組織均勻、性能優異、生產成本低等特點，能以經濟、量產的方式製造形狀複雜、高精度及高性能材質的小型機械零件，如微型齒輪、微型扇葉、微型醫療器具、汽車微裝置零件等。

## PIM 工藝生產難點

- **欠注：**材料流動性差、製品厚度過小、溫度太低、注射時間太短和注射壓力太小都會造成成品無法充滿。
- **熔接痕：**熔膠在注射過程中會因結構被分成若干股料流，再次匯合處可能出現線狀的痕跡，會影響成品的外觀與強度性能。當排氣不良、澆口位置不當、速度過慢、溫度過低都會進一步降低熔接線的品質。
- **氣穴：**在注射過程中型腔內空氣未及時排出，被熔膠包裹或壓縮至流動末端，將引起成品表面氣穴，影響外觀品質與強度性能。常發生在產品厚度較大、模具排氣不良、工藝中射出速度過快等情況下。
- **黑線：**在注射過程中由於剪切率的變化，造成金屬粉末與黏結劑分離，形成光澤度不佳的線狀缺陷。
- **開裂：**製品在脫脂燒結後出現開裂的現象，可能是由於成型過程中產生應力堆積或應力分佈不均，殘

餘應力在後續工藝中釋放導致。還有可能是製品厚度差異較大，不均勻的收縮應力導致斷裂。

- **變形：**指的是成型製品冷卻後出現彎曲或扭曲，直接影響製品的外觀尺寸精度，甚至引起製品報廢。變形的原因多樣，如製品冷卻不均勻、內部積熱和頂出過早、製品厚薄不均和結構設計不合理等。

## PIM 成型品質與效率提升方向

- **煉膠配方：**在選配黏結劑時考量產品結構的成型難度，維持胚狀功能需求下，優先選擇流動性更佳的。
- **成型設備：**選擇金屬粉末專用射出機，配備專用的耐磨螺桿和料筒、含加熱控制的加長噴嘴、精準的螺桿位置控制、高回應電機等，給予更寬廣的工藝視窗，滿足精度高、效率好、速度快的需求。另外搭配自動化取件設備，充分保護脆性產品，防止自由下落造成損傷。
- **脫脂設備：**目前市面上有一種混合脫脂爐，可同時滿足多種脫脂要求，包括單一的溶劑脫脂、蒸汽脫脂、冷凝蒸汽脫脂、脆化脫脂、虹吸脫脂，還可以同時進行多種工藝脫脂，實現黏合劑的快速脫出。如廠內生產工藝多樣化，該混合脫脂設備可以大大提升效率。
- **燒結設備：**一般分為真空爐和連續爐，真空脫脂燒結爐是一種利用真空技術對材料進行燒結的間斷式（批次式）生產設備，用於金屬粉末注射成型製品的二次脫脂（熱脫）和燒結工藝環節。連續脫脂燒結爐是一種連續式生產設備，可使用於 PIM 製品從





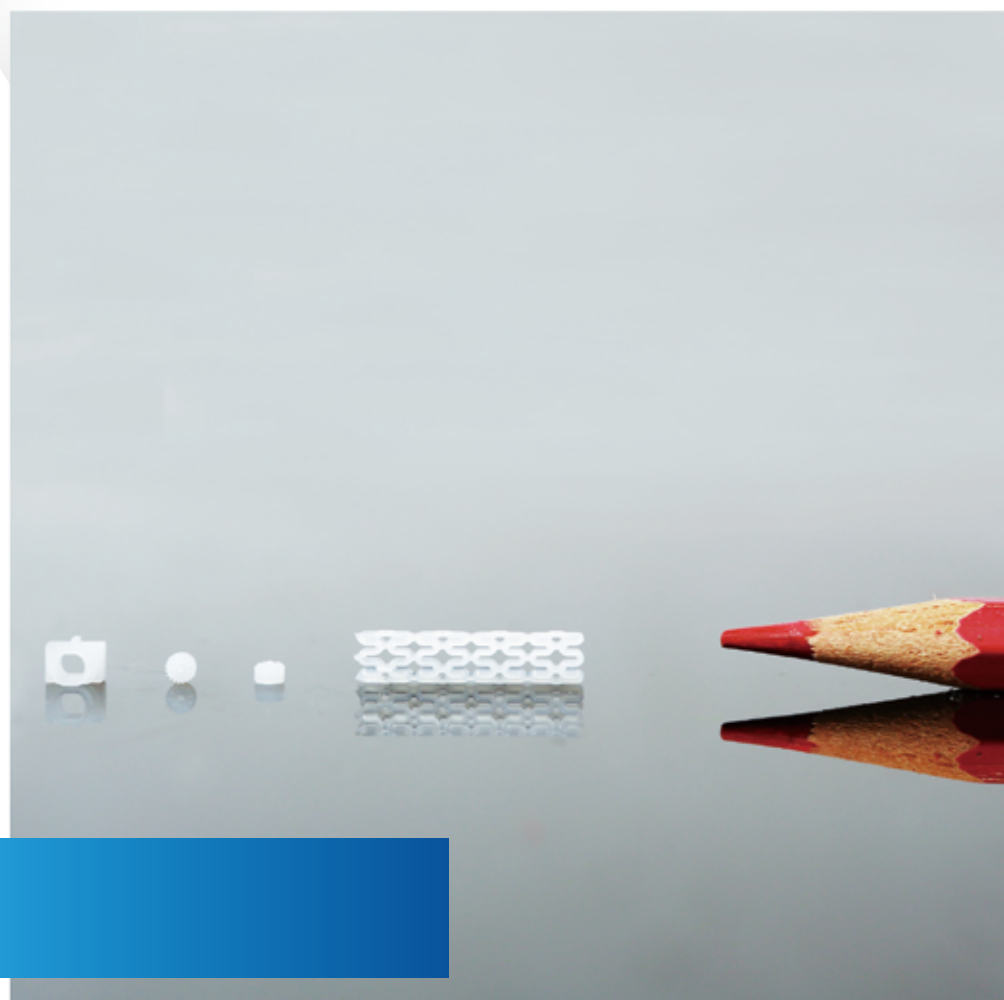
圖 1：PIM 產品參考圖（圖片引用自 <https://www.smartmolding.com/17-04a01/>）

毛坯件進入爐內到燒結件出爐的全過程，並且可以不間斷連續運轉，特別適合於大批量產品的生產，有利於提升企業的規模化效應，顯著降低大批量產品生產的單位成本。

- **熱流道選用：**優勢在於節約昂貴的粉末材料成本、避免冷流道粗大所造成的冷卻時間延長、減少了粉末混合料對模具的磨損及降低射出壓力、提高了模具使用壽命等。
- **使用模流分析技術：**預先分析產品設計與模具設計的潛在問題，預測外觀缺陷、應力分佈等。把源頭做好，節省時間與修模成本，提高生產效率。

## 總結

金屬粉末射出中每個製程環節都是極為重要的，要達成高密度、高精度、高強度、少後續加工的目的，每個環節都需非常仔細評估及研究，盡可能避免在脫脂、燒結後才發現缺陷，此時的金屬射料已經無法再回收利用。不能忽視在混煉、造粒、射出、脫脂、燒結熱處理，以及模具系統應力分佈這些重要環節的重要性，提早預防缺陷才是解決缺陷的最佳方法，以達高可靠度 PIM 產品高精度要求。■



# 微射出成型 解決方案



ISO13485 認證



無塵室設備，符合Fed 209E  
( U.S. Federal Specification )  
100,000等級

# Micro Injection Molding

- 微射出成型
- 微射出成型機
- 微射出模具製造

映通 讓尖端科技成真



精微塑件代工



植入物醫療塑件代工



專業醫療級塑膠射出代工

映通擁有專業開發工程團隊

完整提供客戶從

**開發設計、打樣、開模、試製作、  
試量產、量產**

提供全方位解決方案



# 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