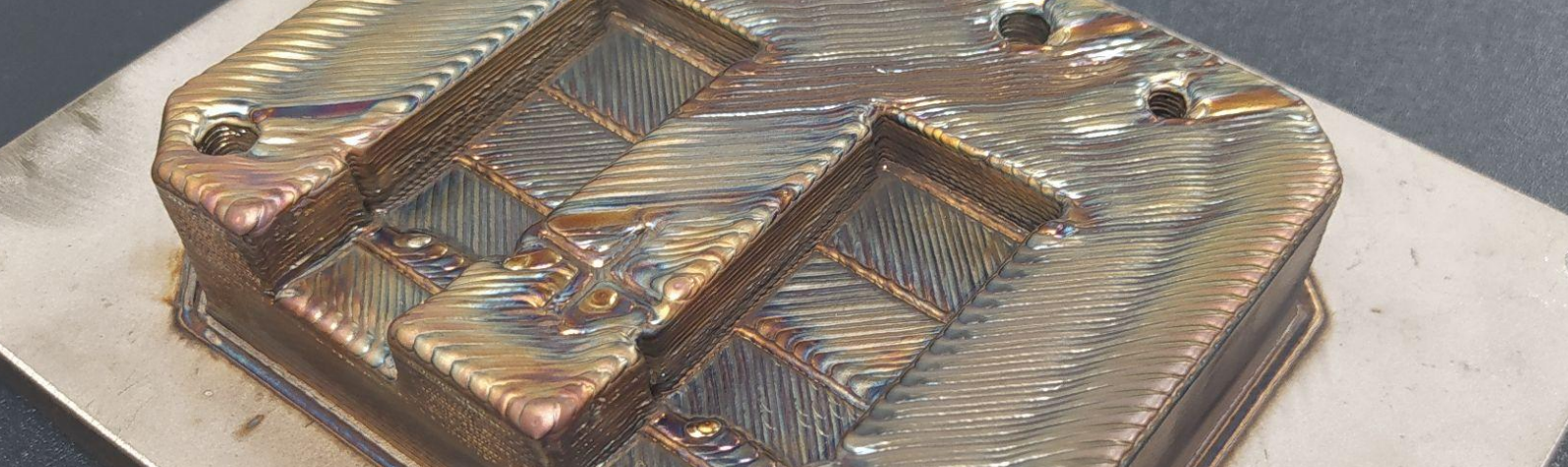




使用LMD雙線材 技術製造模具

Whitepaper



目錄

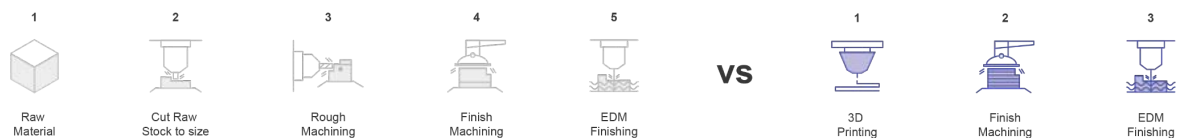
概述	4
1. 介紹	5
1.1 目前模具製造遇到的挑戰	6
1.1.1 複雜性	6
1.1.2 材料	6
1.1.3 成本	6
1.1.4 交期	7
1.1.5 維護	7
2. 積層製造於模具製造生產的機會	8
2.1 目前積層製造能解決的問題	8
2.1.1 設計靈活性和性能優化	8
2.1.2 節省成本	9
2.1.3 更短的交期	9
2.2 積層製造帶來的新挑戰	9
2.3 粉床熔融金屬積層製造製程之外的潛力	11
3. Wire - LMD 線材雷射金屬沉積製程	12
3.1 從基礎到進階製程的能力	14
4. 材料與機械性質	15
4.1 熱作工具鋼	15
4.2 使用焊接線材作為積層製造的原料	16
4.3 Meltio H11工具鋼	17
4.3.1 熱處理	18
4.3.2 密度	19
4.3.3 機械性質	19

5. 如何使用LMD技術添加隨行冷卻功能	20
5.1 隨行冷卻介紹	20
5.2 基本設計: 淚滴狀和房屋形的冷卻流道	21
淚滴狀	21
房屋形	24
5.3 進階設計: 流道橋接和螺旋填充	25
正方體	25
螺旋晶格填充	26
5.4 為何使用 Meltio Wire - LMD 線材雷射金屬沉積製程製作隨行冷卻功能	28
6. 雙線材能力	29
7. 模具和沖模的應用範例	30
案例分析: 用於聚合物醫療用品的 Conify 和模組化模具	31
開發專案: 聚合物射出成型模具嵌件	33
開發專案: 汽車光學元件	34
開發專案: 鋼板熱沖壓模具的一環	35
8. 總結	36

概述

模具製造是一個工業產業，也是各種大規模生產製程的基礎。

模具和沖模是採用耐用材料製造的精密工具，其性能要求不斷提高，也增加了複雜性。所有這些都意味著高成本和冗長的交貨時間。



Standard manufacturing process vs MELTIO

積層製造 (AM) 自早期開發金屬以來，一直試圖解決模具製造的挑戰，並取得了不同程度的成功。雖然性能改進和靈活性很容易獲得，但適用的應用範圍仍然相當有限。

Meltio 的雷射金屬沉積技術 (LMD) 由於使用了現成的廉價焊接線材原料，大幅擴展了積層製造在模具製造中的實際案例。該製程能夠生產模具，即使具有隨形冷卻等先進功能，也不會受到除粉等問題的侷限影響。

可以利用的優勢如下：

- 列印精確的近淨形狀零件;
- 節省材料和工具磨損;
- 裝配件整合;
- 高效率的冷卻通道優化了循環時間;
- 使用兩種材料提高性能並降低成本;
- 修復磨損的表面.

1. 介紹

模具製造市場是製造業的重要的一環。它涉及汽車、航太、醫療保健、消費產品和電子等各行各業所使用的工具的生產。模具是進行零件和產品大量生產的關鍵要素。

模具製造過程涉及設計和模具生產，透過將熔融材料注入模具型腔室來製造零件或產品。

另一方面，模具製造涉及設計和生產模具，需將材料（通常是金屬板材）成型和切割成特定的模具形狀。



由於各產業對複雜精密零件的需求不斷增加，模具製造市場逐年成長。市場競爭激烈，製造商不斷改進其工藝和技術，以具有競爭力的價格提供更高品質的模具。

不同類型的模具包括射出成型模具、壓鑄模具、沖壓模具和鍛造模具等。

模具製造市場預計在未來幾年將繼續成長。這種不斷增長的需求促使製造商尋求最先進且具有成本競爭力的模具生產技術。

1.1 目前模具製造遇到的挑戰

模具製造是一個複雜且具有挑戰性的過程，為各種行業製造精確而複雜的零件。以下是傳統模具製造面臨的一些主要挑戰。



1.1.1 複雜性

模具可能具有非常複雜的幾何形狀和小細節。外表面的複雜性通常不如內部冷卻特徵那麼高，本質上更難製造。

1.1.2 材料

為模具選擇正確的材料對於確保其性能和耐用性非常重要。使用的工具鋼種類繁多，每種工具鋼的強度不同，但都具有相對較高的成本和較低的切削加工性。

1.1.3 成本

模具製造可能非常昂貴，特別是在創建客製或專用組件時。

1.1.4 交期

模具製造可能會受到緊迫的交貨期限和周轉時間的影響。製造過程中的延誤可能會導致生產延誤、錯過最後期限，並可能導致收入損失。

1.1.5 維護

隨著時間的推移，工具可能會受到磨損，需要維護和修理。具有成本效益的模具需要能夠承受維修過程，以提供較長且高效的使用壽命。

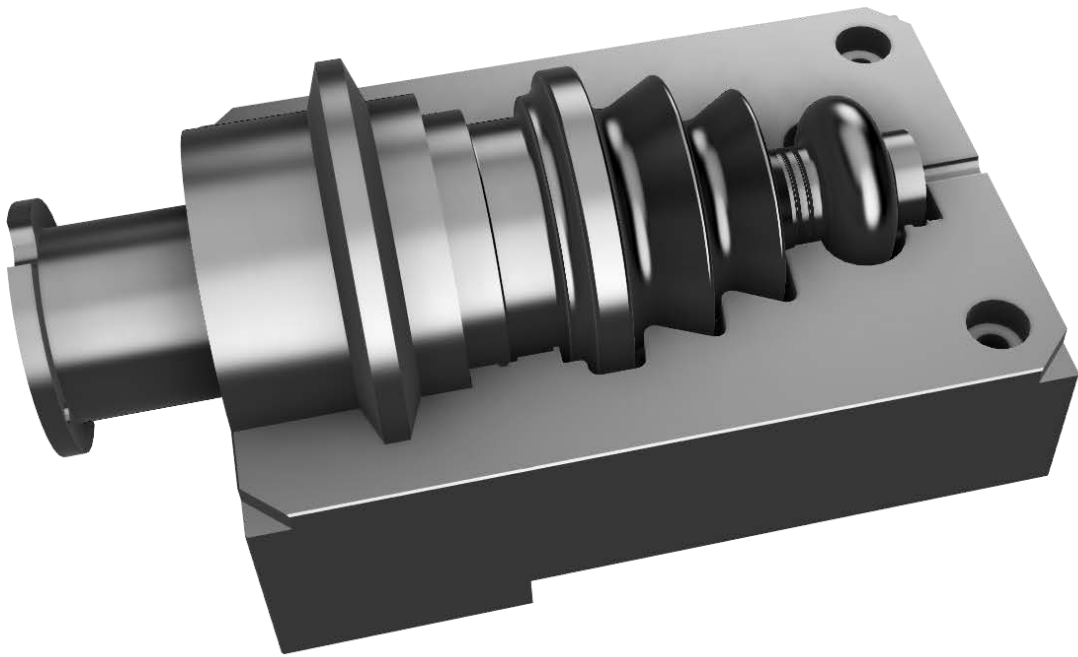


Fig. 1.1.1: 塑膠射出模具的下半部分，帶有嵌件。

2. 積層製造於模具製造生產的機會



2.1 目前積層製造能解決的問題

積層製造流程具有多種優勢，可用於模具生產；其中一些直接解決了傳統模具製造的主要挑戰。

2.1.1 設計靈活性和性能優化

積層製造能夠創造出高度複雜的幾何形狀，而這些幾何形狀很難或不可能用傳統製造方法生產。這可以實現更有效率、更優化的模具設計。一個特別重要的領域是內部冷卻功能的開發，傳統技術只能提供有限的價值。

2.1.2 節省成本

積層製造可以顯著的降低模具的生產成本。傳統的製造方法通常需要昂貴的工具和設置成本，加工過程中會產生大量的庫存材料浪費。AM 成本結構更依賴原料（浪費非常有限）和 3D 列印設備的成本。

2.1.3 更短的交期

與傳統製造方法相比，積層製造通常可以更快地生產模具和沖模。積層製造也降低了工業使用者模具製造能力內部化的障礙。

整體而言，在模具中使用積層製造可以縮短生產時間、節省成本、提高性能和設計靈活性，使其成為各產業公司有吸引力的選擇。

2.2 積層製造帶來的新挑戰

雖然積層製造可以提供優於傳統技術的明顯優勢，但其製程並非完全沒有限制。

第一個成功滿足模具製造需求的金屬積層製造技術主要集中在精細金屬粉末的使用。這些工藝屬於粉床熔融成型 (PBF) 類別，可提供最大程度的準確性和設計自由度，但它們可能很難為廣大用戶帶來很大的價值。

PBF 粉床熔融成型的技術可能會面臨幾個與製程相關的問題。

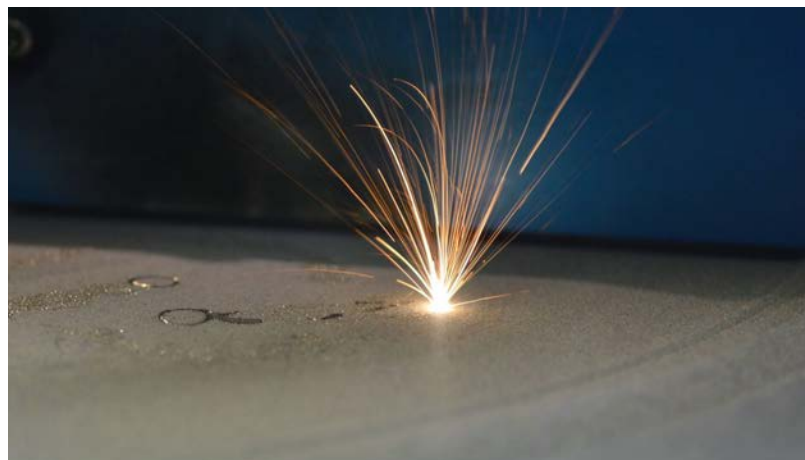
首先，由於該工藝是針對航太和醫療應用所需的高價值材料而開發的，因此對模具製造中常見的工具鋼的研發資源有限。

一般來說，PBF 系統是最昂貴的金屬積層製造設備之一，粉末原料也是。如果沒有仔細優化建造體積的利用率，製造的零件單件成本可能會大大高於理論上可實現的成本。

除了主要專用於航太應用的裝置外，**PBF** 製程通常擅長處理尺寸和品質有限的複雜零件。具有複雜冷卻功能的小型模具嵌件可能非常適合，重達數公斤的模具可能超出建造體積尺寸或不具有成本效益。

目前所有商用 **PBF** 技術在任何給定時間都只能加工單一合金零件，每當更換材料時都需要執行相當漫長的深度清潔流程。這通常會導致使用者將設備專用於特定材料，以防止粉末交叉污染的風險。事實上，粉末處理增加了製程輔助操作的複雜性。金屬粉末需要妥當儲存，處理人員需要配備個人防護裝備，並且在處理廢物（冷凝物）時需要進一步考慮安全因素，在某些情況下，廢物有高度易燃的風險。

最後，雖然用 **PBF** 列印的零件理論上可以具有高度複雜的內部幾何形狀，但由於製程的性質，任何零件內部結構在列印時都會被鬆散的粉末填充。這種不需要的粉末需要在後處理步驟中移除，以確保零件的功能。



有時，這個過程可能會很漫長，而且勞動力和機械成本高昂。未能成功完全去除粉末可能會導致零件報廢並需要重新設計。

2.3 粉床熔融金屬積層製造製程之外的潛力

除了極少案例外，粉床熔融成型製程的開發目的是從建造底板開始製造零件。這讓我們無法在預成型列印基板上執行特徵添加或修復損壞工具的可能性。

雷射金屬沉積製程不依賴依序填充每一層粉末的列印粉床，材料選擇性地直接沉積在由一個或多個雷射創建的熔池內。借助 5 軸作動系統，可以在非平面表面上沉積材料、添加特徵。就模具而言，這可能意味著從預先加工的底座開始製造工具或修復磨損的工具。

雖然 LMD 最初是以金屬粉末的使用而開發的，但其基本原理可以應用於另一種更容易處理的原料：焊絲線材。



Fig. 2.3.1: LMD - Shutterstock

3. Wire - LMD 線材雷射金屬沉積製程

Meltio 以其創新的雷射線材工藝徹底改變了金屬 3D 列印產業。雖然 Meltio 最初是開發粉末和線材雷射金屬沉積 (LMD) 3D 列印技術的供應商，但現在其重點已轉向改進雷射線材製程。

借助於 Meltio 的線材雷射金屬沉積 (LMD) 工藝，使用者可以期待更好的微觀結構、改進的控制以及最少的額外加工材料。熱影響區極為緊湊，減少了向下層和熔池附近的熱傳遞。這使得流程更加穩定，從而產生一致的高品質結果。

列印過程中，金屬線材（直徑 0.8 至 1.2 毫米）與沉積頭同軸進入熔池，在六束會聚雷射光束的焦點處，在與基材的接觸點處熔化。獨立於能量輸入和物料流，使得 Meltio 能夠使用複雜的回饋系統，從而實現穩定的製程。



Fig. 3.0.1: Meltio 的沉積噴頭的剖面圖。

此製程可提供高解析度的近淨形狀零件 (NNS)，即需要精加工製程才能達到最終淨幾何形狀的零件。與淨形狀相比，NNS 上存在的額外材料稱為預留肉厚（預留加工量）。Meltio 雷射焊接線材工藝最顯著的優勢之一是所需的預留厚度最小。由於較低的熱輸入和受控的雷射工藝，其表面可與粉末工藝相媲美，所需的厚度範圍從最大 1.5 毫米到幾百微米。

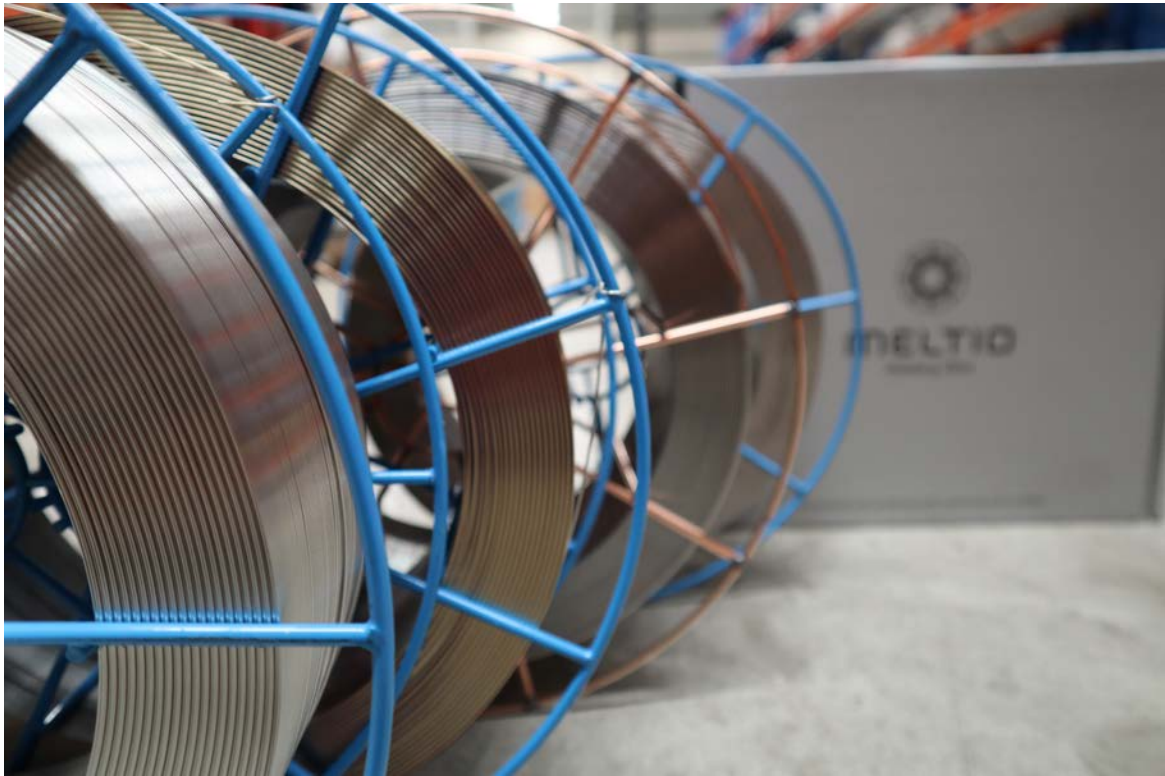


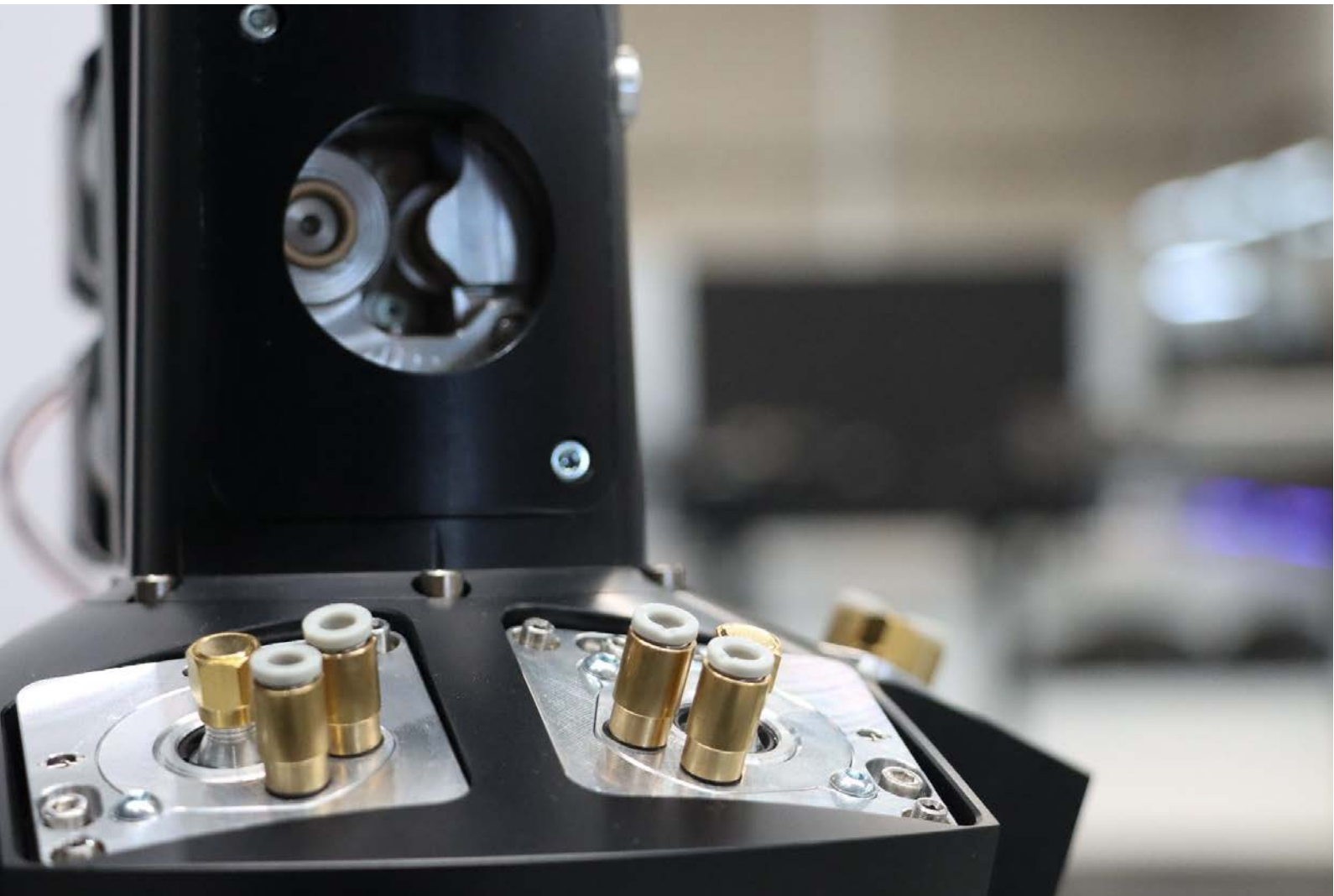
Fig. 3.0.2: Meltio 的線材捲

Meltio 的技術工藝能力，加上使用焊接線材作為原料降低了耗材變動成本，使 Meltio 的系統成為製造模具和沖模等工具的理想選擇。

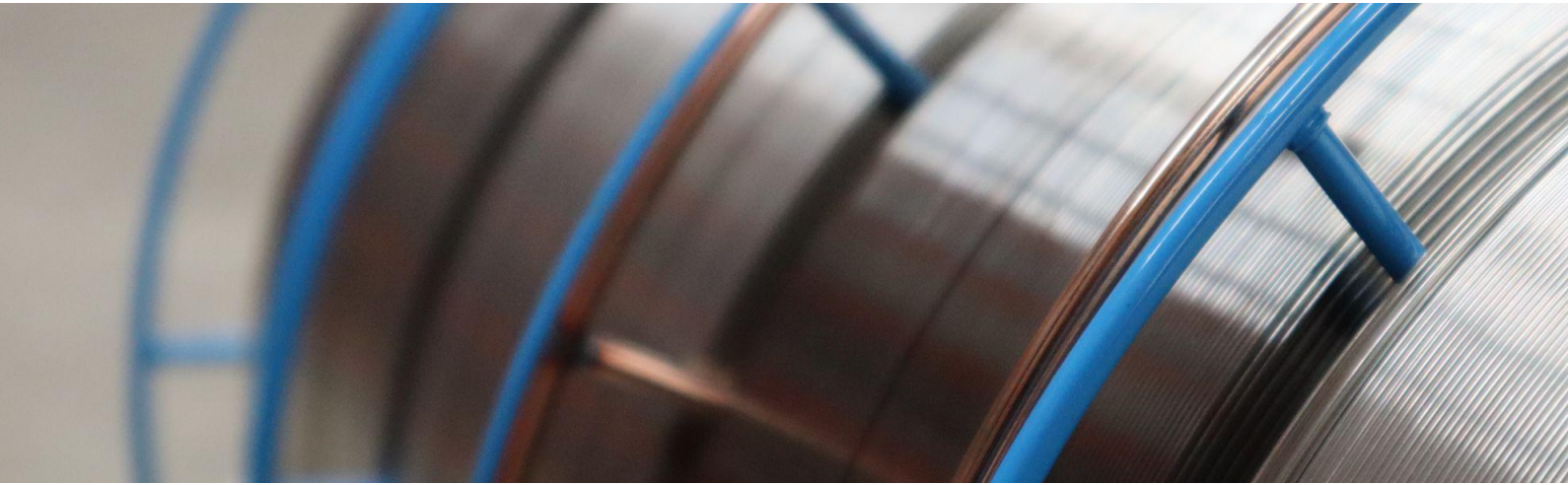
3.1 從基礎到進階製程的能力

Meltio 的設計指南中描述了該系統的基本功能，並且不斷開發創新，重點是擴大適用應用範圍。具體來說，目前的軟體更新提供了改進的內部特徵製造能力。

在 Meltio M450 設備平台中，Meltio Horizon 切層機為 Gyroid Lattice 填充提供了新的填充策略，以產生出經定義的開孔孔隙率的零件。這特別適合冷卻通道的製造。利用物件修改功能，我們可以輕鬆定義建置的中心區域，並根據模型重疊應用不同的陰影策略，實現曾經認為使用 LMD 不可能做出的形狀結構。



4. 材料與機械性質



4.1 熱作工具鋼

熱作工具鋼用於製造暴露在高溫、重載荷和磨料力下的模具和沖模。此應用所需的這些金屬的典型特性包括：

- 高熱硬度：在高溫下保持硬度和強度的能力對於熱作工具鋼非常重要。
- 高耐磨性：鋼材應能抵抗使用過程中磨擦力所造成的磨損與變形。
- 高韌性：鋼材應能承受衝擊負荷並在使用過程中抵抗開裂或斷裂。
- 良好的導熱性：將熱能從模具中傳導出去的能力對於防止過熱和過早失敗非常重要。
- 抗熱疲勞性：鋼材應能抵抗因循環加熱和冷卻而導致的開裂和失敗。
- 良好的機械加工性：鋼材應易於機械加工並成型為所需的形狀。
- 良好的拋光性：模具或沖模的表面光潔度對於最終產品非常重要，因此鋼材應能達到良好的表面光潔度。
- 耐腐蝕性：鋼材應能抵抗環境的腐蝕，例如氧化或生鏽，以保持模具或沖模的完整性。

整體而言，熱作工具鋼應兼具高溫強度、耐磨性、韌性和切削加工性，以便在模具製造的嚴苛環境中表現良好。

4.2 使用焊接線材作為積層製造的原料

熱作工具鋼很容易用作焊絲線材，因為它們長期以來一直是為傳統焊接工藝而開發的，用於修復和表面硬化。

使用任何工業環境都熟悉的原料降低了添購 Meltio LMD 製程設備的障礙。Meltio 的策略主攻開放材料平台：所有使用者都可以使用任何製造商的線材進行 3D 列印。

然而，任何合金的積層製造製程開發都需要迭代步驟，重點是獲得所需的最終密度和機械性能。Meltio 的材料和技術開發部門已經針對 Meltio 品牌下可列印材料執行了開發任務。其中，模具製造商主要會關注 Meltio 的 H11 工具鋼。



Mold-Making with LMD and Dual Wire

4.3 Meltio H11工具鋼

Meltio 的第一種工具鋼是常見的 H11 (1.2343)，可以以其原始成分以焊絲線材形式獲得，與工具製造商所熟知的材料相同。

工具鋼 H11 是一種空氣硬化工具鋼，在 3D 列印過程中達到硬化狀態。3D 列印的 H11 零件顯現回火馬氏體和新鮮馬氏體、殘餘奧氏體以及與凝固前緣對齊的柱狀晶形態。熱處理減少了殘餘奧氏體並將晶粒細化為主要等軸形狀，轉變了大部分的馬氏體。光學顯微鏡可能無法檢測到微量的奧氏體。

在 3D 列印狀態下，由於延展性降低，機械加工性會受到影響，並且在操作過程中開裂的風險更高。因此，傳統的熱處理循環通常是必要的，除非用於熔覆或添加小特徵的應用。



Fig. 4.3.1: Meltio H11 工具鋼線材、線軸和零件樣品，是一種雙材料折彎工具零件，其表面採用 H11 工具鋼，核心採用低碳鋼列印。

最理想的循環應從退火步驟開始，然後再從列印平台上移除零件。材料將被軟化並且移除應力，使其易於機械加工。加工後，零件應進行硬化和適當的回火週期，以達到所需的硬度。

Machined - hard machining on as-printed part



Polished and textured



Fig. 4.3.2: H11工具鋼的拋光性，高密度指標。

4.3.1 熱處理

退火	HT.1: 惰性環境 - 加溫至 820°C	在烤箱中緩慢冷卻至室溫
硬化	HT.2: 惰性環境 - 加溫至 to 1025°C	保持2小時 強制風冷至室溫
回火	HT.3 (範例): 惰性環境 - 加溫至 550°C	保持1小時 緩慢冷卻至室溫 (執行2次)

*Typical Parameters for a Sample of 160x60x30 mm

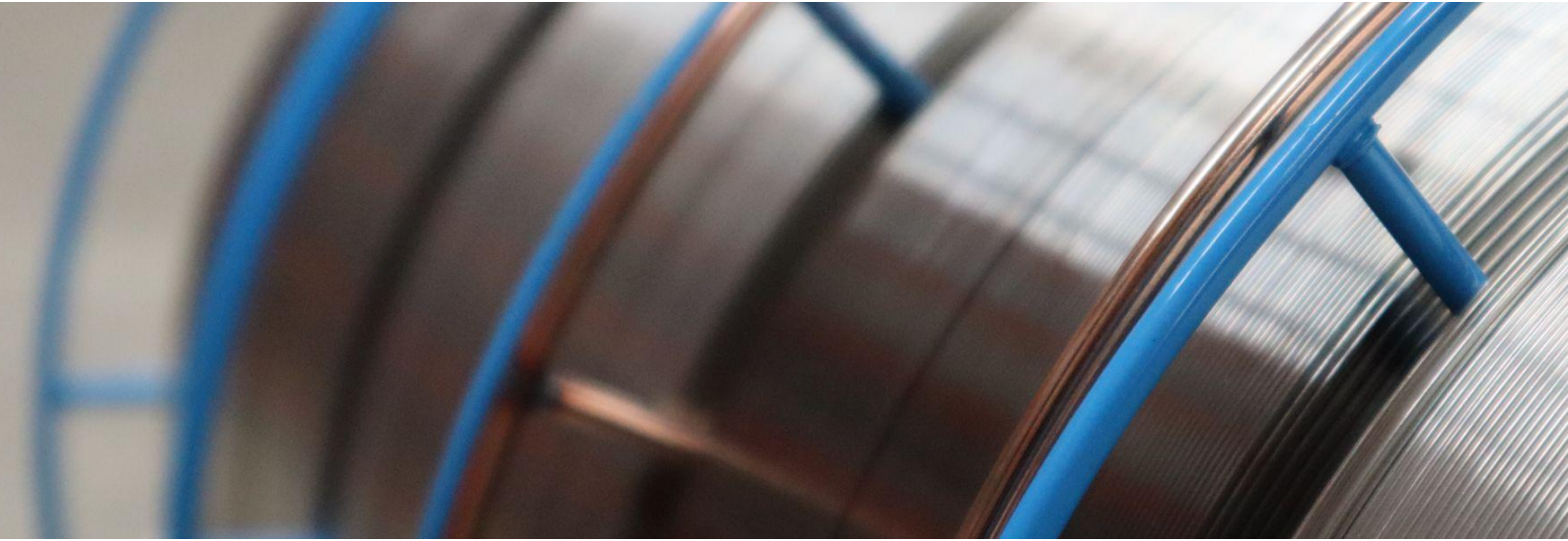
4.3.2 密度

3D 列印的相對密度	99.89%
------------	--------

4.3.3 機械性質

	UNE EN ISO 6892-1	
	Meltio XZ Properties (HT.1 + HT.2 + HT.3)	Meltio XZ Properties (As Printed)
極限拉伸強度 (UTS) [MPa]	2087 ± 2	1830 ± 105
屈服強度 [MPa]	1735 ± 101	1170 ± 90
伸長率 [%]	12.18 ± 0.19	3.46 ± 0.36
*Tests Carried Out In IDONIAL info@idonial.com		

5. 如何使用LMD技術添加隨行冷卻功能



5.1 隨行冷卻介紹

使用熱材料（無論是聚合物還是金屬）的模具和沖模需要冷卻以延長其壽命並縮短循環時間，從而提高生產率。

傳統製造的模具和沖模通常採用具有圓形截面的直線製成的冷卻通道，因為這種幾何形狀可以透過鑽孔製程輕鬆完成。然而，選擇這種方法是由於製造技術的限制，並且通常與成型工具上可以實現的理想冷卻性能有些差距。

透過積層製造，可以透過採用「隨形冷卻」的方法來獲得優化的冷卻功能，即內部流道的設計大致遵循外表面的形狀，以便在熱表面和冷卻流體之間提供最有效的熱交換。

隨形冷卻的好處是顯著的。透過減少冷卻時間，可以縮短循環時間，從而提高生產率並降低生產成本。此外，透過隨形冷卻生產的零件缺陷更少，從而生產出更高品質的產品。

隨形冷卻還允許更複雜的零件設計，因為傳統的冷卻通道會限制零件的幾何形狀。將冷卻通道放置在更靠近零件表面的位置可以減少零件的翹曲、變形和殘餘應力，從而提高零件品質。

總體而言，隨形冷卻對於模具製造業來說是一種寶貴的工具，可縮短生產時間，提高零件品質並增加設計自由度。

5.2 基本設計: 淚滴狀和房屋形的冷卻流道

多種積層製造技術可以生產隨形冷卻的模具嵌件和模具。彎曲路徑是完全可以實現的，並且可以透過與傳統形狀相比進行一些設計變更使其更適合列印。

最常見的設計建議是將不垂直於列印平台的流道從圓形轉換為淚滴形截面。這是為了在流道頂部提供自主支撐幾何形狀所必需的。

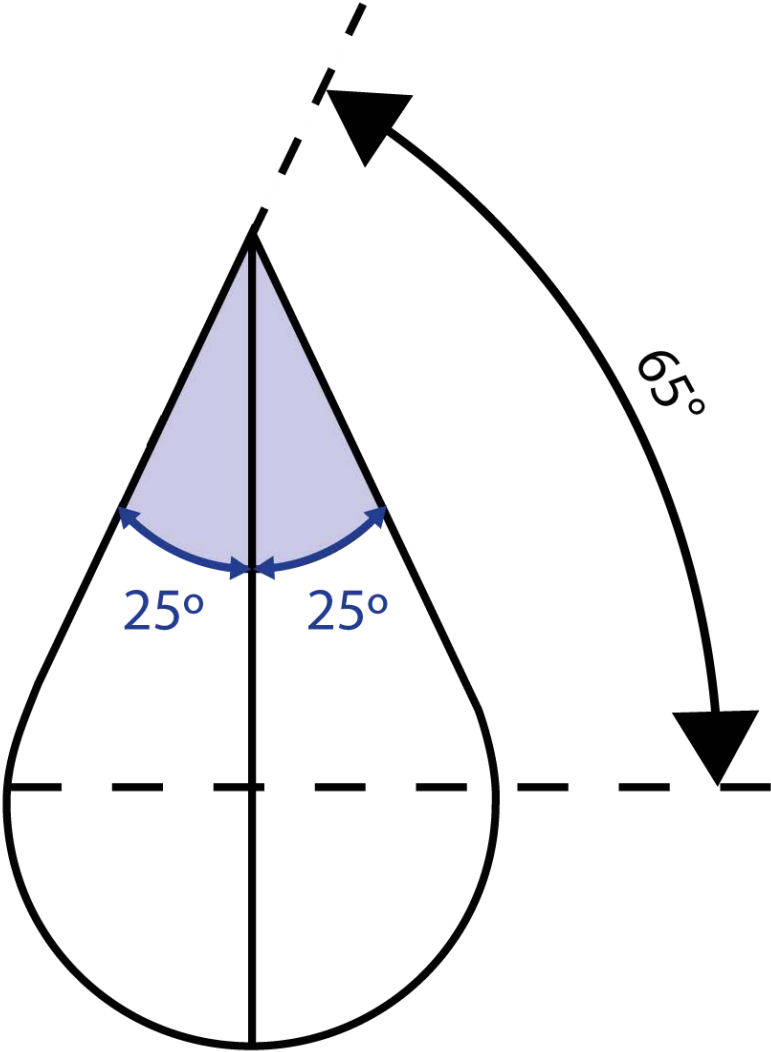
淚滴狀

淚滴形冷卻流道通常底部較寬，頂部較窄，較寬端具有圓形邊緣，較窄端則是尖邊。這種形狀允許較大範圍的傳熱表面，同時保持較薄的壁厚並大幅減少材料的使用。

設計可有效列印的淚滴形狀構造需要仔細考慮相對於中心垂直軸的角度。為了確保適印性，淚滴形狀應與中心垂直軸有著**25度**或更小的角度。當考慮水平軸時，角度應為**65度**或更大。

與垂直軸的角度大於 **25 度** 的淚滴形狀可能難以列印或可能需要額外的支撐結構。一般來說，較小的角度的形狀會更容易列印。

使用淚滴形冷卻流道時，考慮其它設計因素也很重要，例如通道之間間距、壁厚應至少為 2.0 毫米（Meltio 技術可列印的最小壁厚）。這些因素都會影響冷卻系統的性能和零件的可製造性。



設計帶有冷卻流道的模型後，需要將其作為網格檔案匯入切層軟體中。流道的所有特徵細節都將被帶入此檔案中。

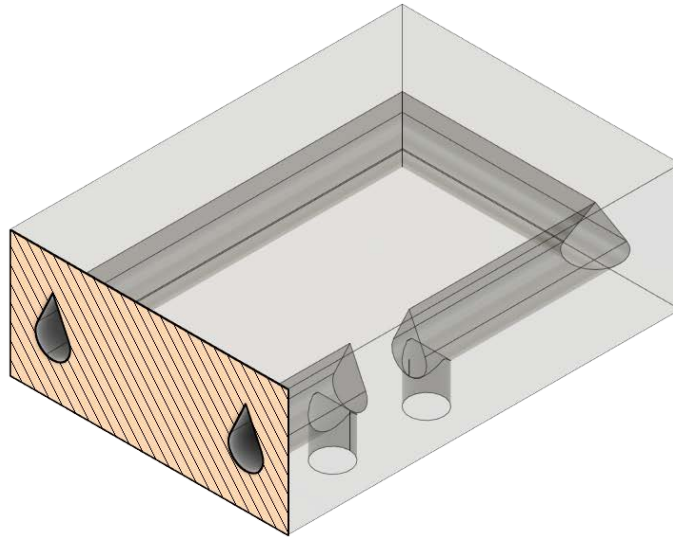


Fig.5.2.2: 具有淚滴形冷卻流道零件的橫截面



Fig.5.2.3: 帶有淚滴形冷卻流道的切片樣品照片

房屋狀

顧名思義，這些流道的橫截面形狀類似於房屋，有尖頂屋頂和傾斜的牆壁。

房屋形狀的冷卻流道設計非常有效，因為有角度的側壁會在冷卻劑流中產生紊流，從而提高傳熱效率。通道的尖頂還提供了額外的傳熱表面積。儘管如此，不正確的設計或列印參數可能會導致最終零件的冷卻效率降低或其他缺陷。

房屋形狀的冷卻流道可能比更簡單的形狀如淚滴形流道更難列印。流道的傾斜壁和尖頂可能會產生懸垂，因此，應考慮與淚滴部分的相同因素：與垂直中軸的角度為 **25** 度或更小，以保持適印性。

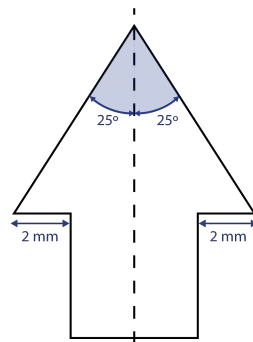


Fig.5.2.4: 房屋形狀橫斷面的內角度，垂直壁和「屋頂」外下角之間的距離為 2.0 mm

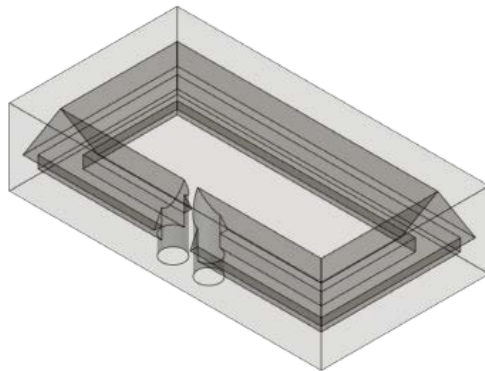


Fig.5.2.5: 帶有冷卻流道腔體的零件（深灰色）

5.3 進階設計: 流道橋接和螺旋填充

雖然淚滴形狀仍然是使用 Meltio LMD 製造的模具和沖模的常見選擇，但切層方式和策略的最新發展帶來了更多可能性。通道頂面上的專用列印參數可實現短橋，從而實現方孔。冷卻功能的全面重新設計可以允許使用螺旋填充物。

正方體

方形冷卻流道通常用於各種應用的冷卻系統，包括電子設備、引擎和工業機械。

使用方形流道的優點之一是與圓形或其他形狀相比，它們可以提供更多的熱傳導表面積。然而，使用方形流道也存在一些缺點，因為它們比圓形流道更難以製作，而且它們可能更容易在角落產生應力集中，隨著日積月累，可能會導致零件破裂或失效。

要成功製作出方形冷卻流道，最複雜的步驟是列印方形的頂面部分，因為它是由兩壁之間的橋接組成的。因此，需要對頂面進行特定的設計以確保其列印適性。

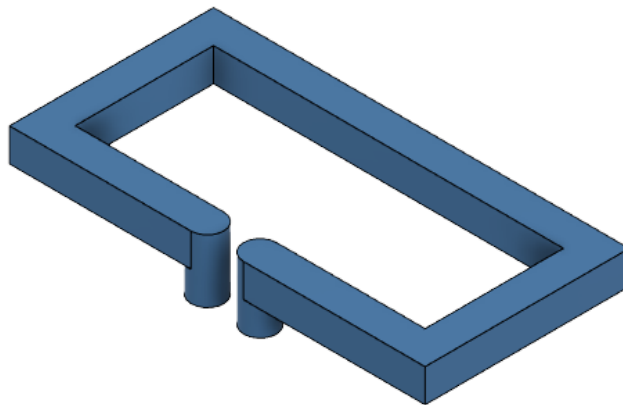


Fig.5.3.1: 方形冷卻水道CAD模型



Fig.5.3.2: 帶有方形冷卻流道的截面樣品的照片

螺旋晶格填充

螺旋晶格填充是一種 3D 列印常使用的填充構造，由重複的多孔晶格結構組成。這種晶格結構可用於在 3D 列印零件中建立隨形冷卻流道。

螺旋晶格填充結構特別適合在隨形冷卻流道中使用，因為它能夠創建複雜、互連的流道網絡，從而有效地從零件中散熱。網格結構由互鎖的彎曲流道組成，為傳熱提供大的表面積，同時保持結構完整性。

使用螺旋晶格填充物作為冷卻流道可以在流道的幾何形狀方面提供很大的靈活性。透過將螺旋晶格填充物納入冷卻流道的設計中，可以創建具有複雜、非常規形狀的流道。因此，使用螺旋晶格填充的冷卻流道可以毫無問題地匹配零件的形狀並遵循其輪廓，而不需要添加額外的支撐結構。

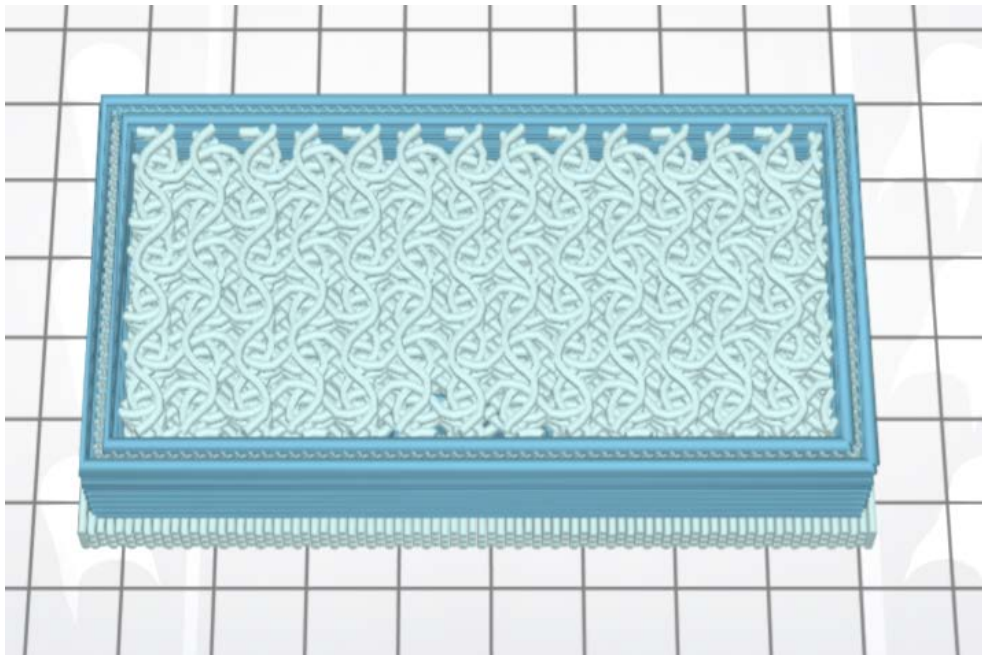


Fig.5.3.3: Meltio Horizon 切層軟體的列印模擬顯示了帶有螺旋晶格填充的冷卻流道



Fig.5.3.4: 帶有螺旋冷卻流道的剖面樣品照片

5.4 為何使用 Meltio Wire - LMD 線材雷射金屬沉積製程製作隨行冷卻功能

Meltio 的線材 LMD 製程可透過減少製造流程並優化材料使用率，與傳統製程相比具有競爭優勢。

此外，從小型鑲件到大型模具和沖模，Meltio 的線材 LMD 製程也比金屬粉末積層製造流程具有以下經濟優勢：

- **直接工藝**：無需燒結，因此與鋼坯材料相比無需額外的熱處理製程；
- **高密度**：無冷卻液洩漏的問題和風險，零件表面可拋光至高光澤程度；
- **原材料成本更低**：焊線比粉末材料便宜 10 倍；
- **無除粉製程要求**：雖然使用粉末的技術擁有很大的設計靈活性，流製造的內部通道需要清除未使用的粉末，這過程有時可能漫長、成本高昂，並可能導致需要重新設計；使用wire-LMD則沒有這樣的需求，流道零件列完成即可使用；
- **雙材料工藝**：由於能夠在同一列印工作中使用兩種材料，Meltio 的 wire-LMD 製程可以有效的提高效能；
- **在現有組件上進行列印的能力**：當在 5 軸平台中使用時，Meltio 的wire-LMD 製程能夠在成形基材上沉積材料，例如預先加工的模架或需要修復的工具。

6. 雙線材能力

Meltio 的沉積噴頭配備了兩台獨立的送線機構，允許在同一列印中使用兩種相容的金屬材料，切換材料的次數並沒有限制。

切換材料時，第一種材料僅縮回 50 毫米。一旦到達最終位置，第二種材料就會被推動通過同一個噴嘴，列印過程就會繼續。換料過程僅花費不到 5 秒的時間內。兩種供料機構的性能相同，因此沒有優先選擇使用何種材料的問題。

由於使用線材原料，材料之間不存在交叉污染，每種合金都能準確地沉積在需要的位置，且未使用的原料不受影響。

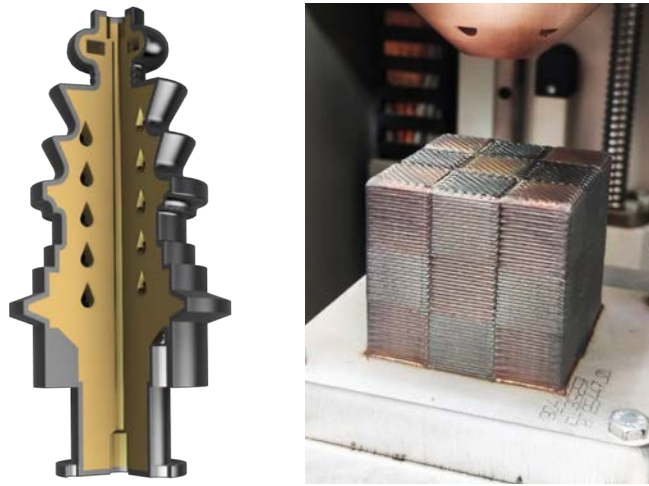


Fig. 6.0.1: 模具嵌件設計，其核心採用與工具鋼表面不同的材料列印-
Meltio 魔術方塊顯示列印數百種材料變換

模具製造的潛在優點如下：

- 為工具鋼零件列印易於加工的支撐件（例如低碳鋼）：透過直接減少材料浪費並間接延長加工製程中的刀具壽命來節省成本；
- 透過僅在需要機械性能的区域沉積列印來降低成本，其餘的部分則使用較便宜的鋼材；
- 在耐腐蝕金屬中列印冷卻流道，以提高零組件的耐用性；
- 在導電性較強的金屬中印製冷卻流道，以改善熱傳遞效能。

7. Examples of Molds and Dies 模具和沖模的應用範例

Meltio 與模具製造商和最終使用者持續進行試驗。Meltio 3D 列印樣品成功證明了該技術的可行性：性能與純加工的零件效果一致，但採用了更先進的無洩漏冷卻流道。

線材 LMD 製程實現的高密度可帶來高機械性能和高度拋光的表面，實現幾乎完美的零件射出。



案例分析： 用於聚合物醫療用品的 Conify 和模組化模具

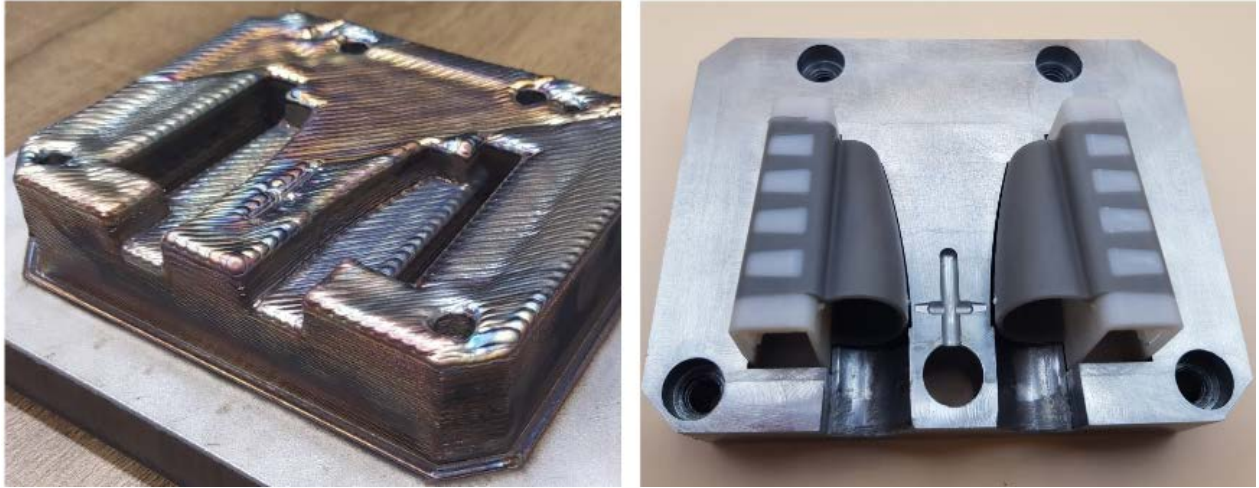


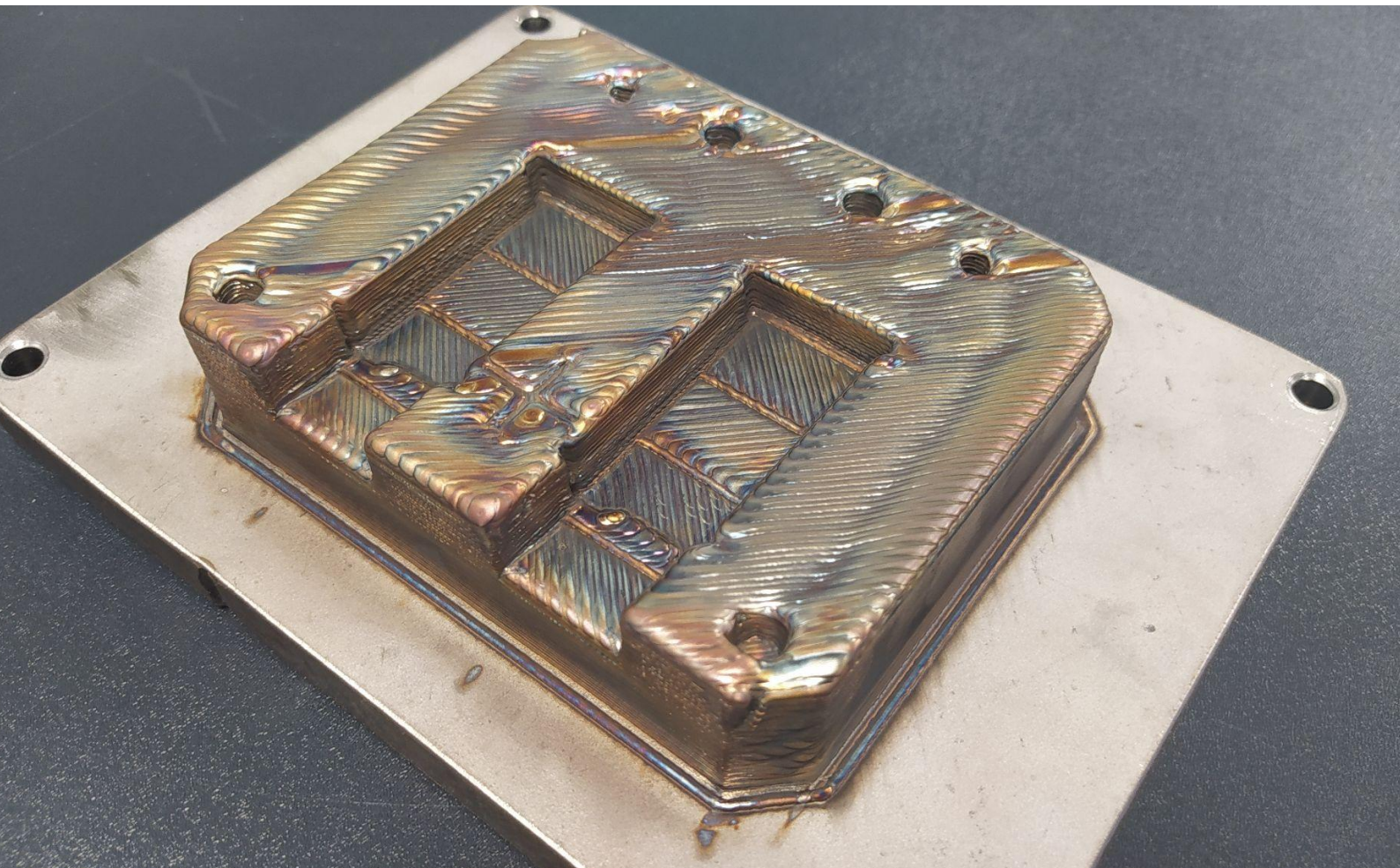
Fig. 7.0.1: Conify 列印完核可運作的模具

歐盟 imPURE 計畫成功開發了一種方法，透過設計和開發注塑模組化模具，重複利用現有的測試產線來製造醫療材料。成功並快速地重新利用工業 IM 生產線建立並驗證了支援積層製造的方法。基礎母模適用於接收、對齊、夾緊和釋放標準尺寸的鑲件，以便可以快速更換不同的模具，從而降低每個模具的成本和每個產品的模具安裝時間。

由於具有良好的耐腐蝕性和耐磨性，CONIFY 選擇 AISI-420 馬氏體不銹鋼來製造血氧計模具嵌件。需要解決的主要挑戰是延展性和韌性不理想以及積層製造引起的各向異性特性。CONIFY 定義了一套多步驟方法，結合 CFD 模擬，研究不同製程參數的影響，並透過測試列印進行驗證，以確定 MELTIO M450 多材料Wire-LMD金屬 3D 列印機的操作範圍 (Process Window)。

在對修改後的 3D 模型進行 9 小時的全尺寸列印期間，考慮到後處理，選擇最佳參數的微調作為快速按需求製造生產的方法。原材料成本是評估製程價值的另一個關鍵因素，其中粉末的成本比 Meltio M450 中使用的焊線至少高 5-8 倍。積層製造後處理的退火熱處理對於將 HRC 值從 57 降低至 28 是必要的。

隨後對退火後的嵌片進行機械加工，以實現所需的設計特性。在最後的後處理階段，採用了 CNC 和開模 EDM 以及精加工（ $R_a = 0.025 \mu\text{m}$ ）。透過 3D 掃描評估列印插入件的尺寸精度，以執行數位幾何尺寸和公差分析。據觀察，沉積後的零件和模型之間的平均偏差約為 $0.38 \mu\text{m}$ 。IM製造試驗成功生產了1,000套血氧計，驗證了DED模具的品質以及快速IM模具製造的整體方法。



開發專案: 聚合物射出成型模具嵌件

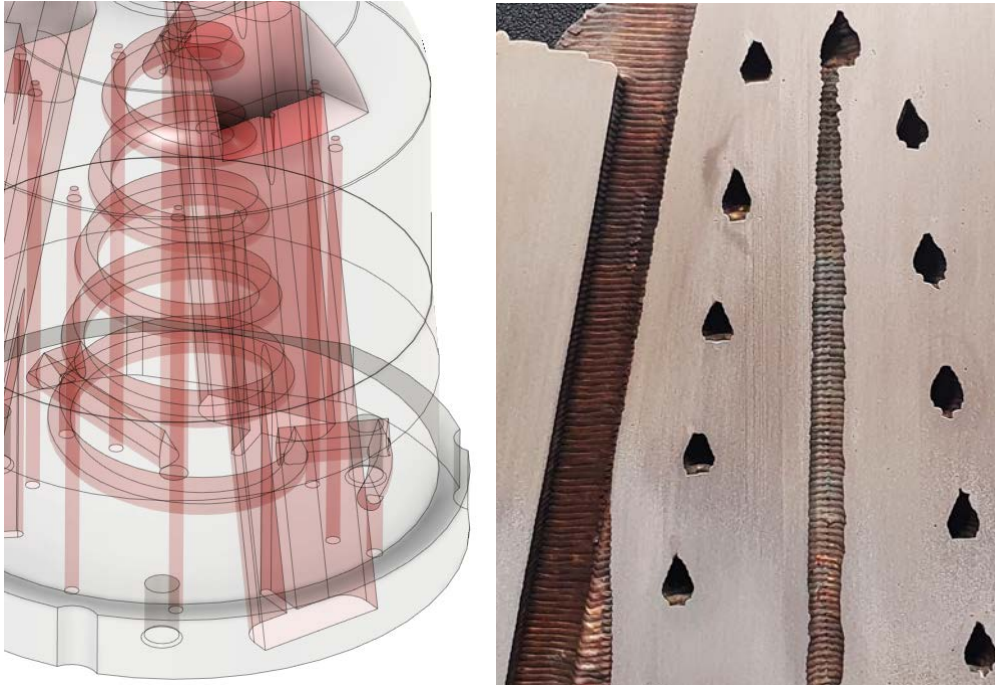


Fig. 7.0.2: 複雜冷卻流道- CAD 模型和剖面列印樣品

在 Meltio M450 單元上列印了一個大尺寸（約 15 公斤）聚合物注塑嵌件，並使用有限的 DfAM 將冷卻流道部分轉換為淚滴形狀。冷卻流道由底面沿著零件的主軸線遵循螺旋路徑。

列印後，插入件經過熱處理、機械加工和 EDM 後處理，以達到製程所需的表面光滑度和尺寸精度。

開發專案: 聚合物射出成型模具嵌件- 汽車光學元件

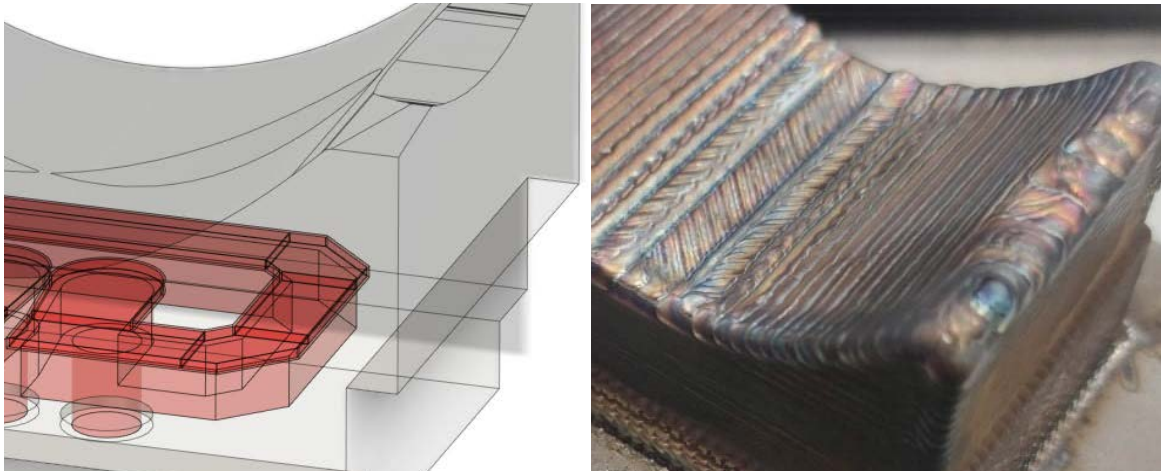


Fig. 7.0.3: 方形截面冷卻流道 - CAD模型和列印樣本

經過多次反覆優化，在 **Meltio M450** 設備上列印了一個小型（約 1 公斤）聚合物注塑成型插件：複製原始版本，不帶冷卻，並帶有矩形截面的冷卻流道。這是透過仔細的參數開發來實現的，從而可以在尚未冷卻的現有設計中添加隨形冷卻。

列印零件的活性表面經過加工、拋光和雷射紋理處理，顯示出優異的密度和表面質量，這是製造光學元件的工具最重要的要求。

Development Project: 開發專案: 鋼板熱沖壓模具的一環

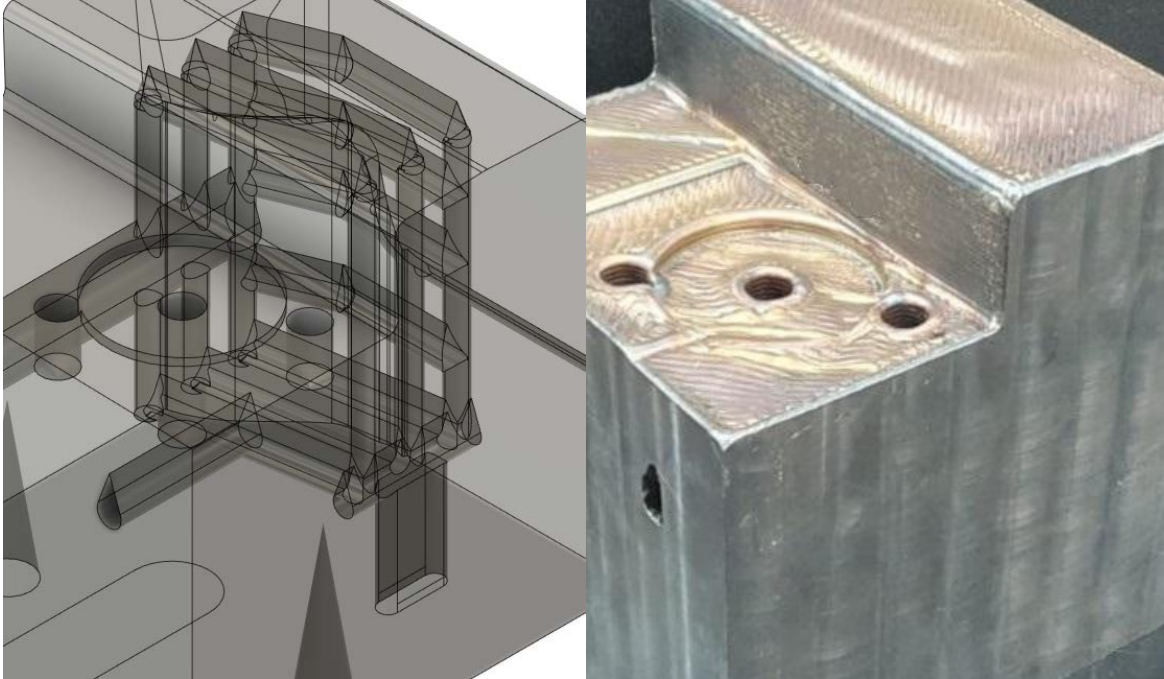


Fig. 7.0.: CAD 模型和列印樣本

在 **Meltio M450** 設備上列印了一個大尺寸（約 **15公斤**）熱沖壓模具，這是現有工具的替換部件，採用有限的積層製造設計，將冷卻流道部分轉換為淚滴形狀。

該模具經過熱處理、機械加工並投入運作，截至撰寫本文時已記錄超過 **17,000** 次循環，沒有明顯的磨損現象。

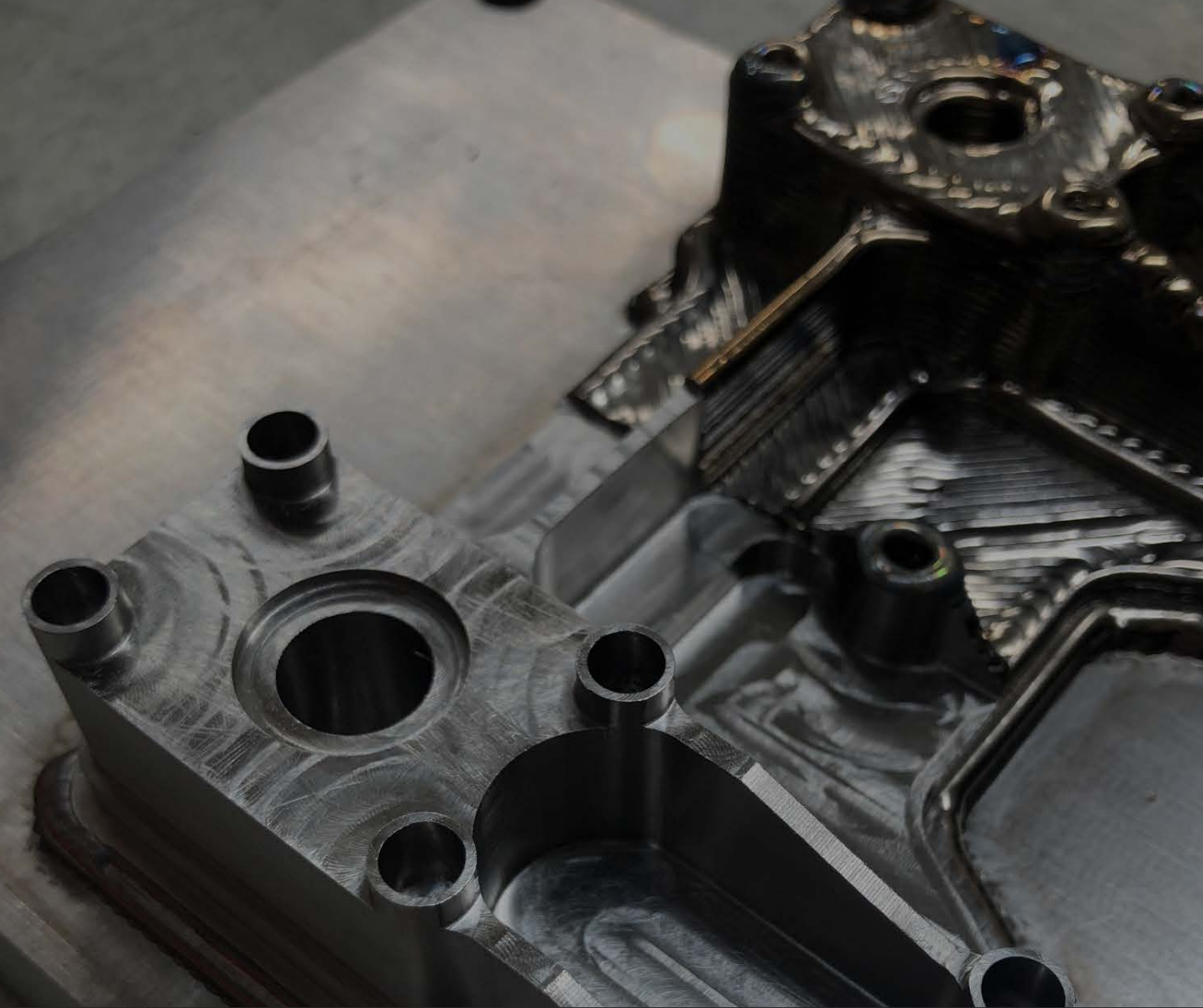
8. 總結

Meltio 線材雷射金屬沉積 (Wire-LMD) 製程成為模具製造的革命性解決方案，在性能和效率方面均超越了傳統製程。Meltio 的 W-LMD 製程能夠滿足鍛造原料的密度標準，同時優化材料使用率並提供隨形冷卻功能，從而推動模具製造的進步。

Meltio 系統的主要優勢之一在於其靈活性。Meltio M450 和 Meltio Engine 提供適合重量分別高達 15 公斤/33 磅和 50 公斤/110 磅的模具和沖模的尺寸範圍。此外，此系統已成功使用各種工具鋼進行了測試，最初的重點是熱作鋼。由於 Meltio 的開放材料策略和專用參數化工藝，可以利用任何線材形式的鋼材，從而提供無與倫比的多功能性。與使用粉末的積層製造 (AM) 技術相比，Meltio 的 W-LMD 技術還帶來了顯著的經濟優勢。Meltio 採用直接工藝，消除了額外的熱處理週期並提供高密度、高度拋光的表面，減少了製造流程並優化了材料使用率。此外，Meltio 系統中使用的焊線比粉末便宜 10 倍，從而在不影響品質的情況下大幅地降低成本。另外，無需除粉要求和雙材料使用的配置進一步有助於降低成本和提高性能。

此技術的好處不僅限於列印過程中直接節省成本。透過實現高解析度近淨形狀並結合增積層製造設計 (DfAM) 原則，可以顯著減少材料浪費。此外，透過將粗加工步驟從數控加工轉移到積層製造，可以減少CNC工具機使用需求並提高CNC產能和效率，這也導致CNC刀具使用磨損大幅減少，降低刀具成本並延長加工週期。此技術還可以實現組裝整合，確保氣密性並避免冷卻流道潛在的洩漏風險。

總之，Meltio 的 W-LMD 製程為模俱生產提供了創新且經濟高效的解決方案。它提供的高密度、優化冷卻和材料使用率與經濟優勢和改進性能相結合的能力使其有別於傳統和其它競爭積層製造流程。模具產業有效使用 Meltio 積層製造技術的時代已經到來。



MELTIO

www.meltio3d.com

 昱竑國際實業有限公司

www.brusat.tech