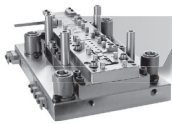
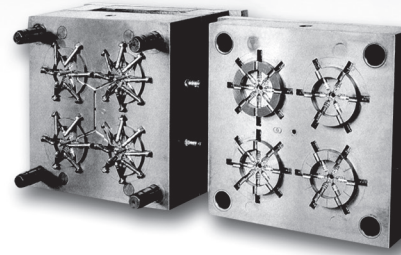


CHAPTER

2

包模鑄造法 (脫蠟鑄造)



2-1 前言

包模鑄造法(Investment Casting)又可稱為脫蠟法(Lost Wax Process)、精密鑄造法(Precision Casting)、精密包模鑄造法(Precision Investment Casting)，這些稱呼均不夠明確，而且容易引人產生誤解，因此大部分生產業者較喜歡使用英國精密鑄造技術協會(British Investment Caster's Technical Association)所定義的「包模鑄造法」(Investment Casting)。其定義為：使用可消失性的材料(Disposable Materials)來製作模型，然後在模型的四周，包覆一層適當厚度的耐高溫的耐火材料當作鑄模(Mold)，待包模材料硬化後再將消失性模型材料熔融流出或使其消失，並加熱燒結而留下尺寸精密的包模模穴，再將熔融金屬液注入包模模穴，待其冷卻凝固後將包模殼敲碎，即可獲得精密鑄件，稱為「包模鑄造法」。

台灣的精密鑄造業主要以蠟做為消失性的模型材料，所以較喜歡稱為脫蠟鑄造法(Lost Wax Casting)或精密鑄造法(Precision Casting)。這種鑄造法絕非近代人所開創發明的，它可以說是最古老的鑄造技術之一。中國遠在殷商時代就已經使用這種鑄造技術，鑄造

青銅的器具，如圖2-1所示。在公元前數百年前，古埃及便已盛行著古典包模法，鑄造形狀複雜的青銅工藝品，如圖2-2所示。但是這種鑄造技術並未被大家所重視，僅僅停留在藝術品的鑄造階段。

直到西元1897年，美國愛荷華州的菲利浦醫生，將這種技術使用在牙醫的鑲牙工作，才使包模鑄造法進入了一個新的里程。非常可惜的是這種新的發展應用，還是沒有引起鑄造界的注意，一直到第二次世界大戰期間，美國軍方為了節省大量的人力、物力及財力，首先投入包模鑄造技術的研究，製造輕兵器的零件，接著噴射引擎的發明，其中許多形狀複雜、材料特殊、加工困難的零件，除了使用精密鑄造的包模鑄造法外，別無其他鑄造方法可以達到要求，於是鑄造界才大量投入在這方



圖2-1 中國殷商時代鑄造青銅的器具 (參照0-1頁彩色圖)



圖2-2 古埃及士兵身上穿著的是青銅的胸甲和青銅的大盾的工藝品

面的研究發展工作。一直到今天美國包模鑄造法的技術在全世界還是居於領導的地位。

2-1.1 包模鑄造的特性

包模鑄造產品特性有：可鑄造表面光滑細緻、尺寸精度高、材料成本及機械加工成本低、外形複雜、細薄，鑄件機械性能高、鑄件內部氣孔、縮孔少，產品設計自由度高、少量多樣彈性的製造性佳、品質穩定性高。然而要展現這些產品特性，必須要具備成熟的產品開發、製程設計、品管系統及生產管理等技術。

一、包模鑄造的特性

(一) 尺寸精度及表面光度好

包模鑄造的尺寸精度可達 $\pm 0.5\sim 1\%$ (IT公差4~6級)，表面光滑且不需製作拔模斜度，最適宜製造**淨形零件**(將原來鑄件、鍛件、機械加工件及多件組裝結構改成一個整體精密鑄件)；使零件結構更趨合理、並明顯減輕了零件的重量、可大大減少鑄件的機械加工量、保證安全係數不降低、使生產成本顯著降低。

(二) 可生產外形複雜、壁薄、花紋精細的零件

包模鑄造能生產最薄壁厚約為0.5mm，最小孔徑可達1.0mm，最輕重量約為1g，最重可達250kg的鑄件；亦可鑄造有精細花紋、細槽及彎曲細孔之毛胚，省去放電加工及雕刻的工時，降低生產成本。

(三) 採用蠟樹製作包模

一次可生產數十至數百個精密鑄件，且可配合機械手(Robot)自動化設備，生產快速並可大量生產。

(四) 合金材料不受限制內部組織緻密

一般碳鋼、不銹鋼、合金鋼、鑄鐵、鋁合金、銅合金、鎂合金、鈦合金以及超合金和貴金屬……等材料都可用於包模鑄造，對於難以鍛造、焊接及切削加工的合金材料，更是特別適於採用包模鑄造方法。

(五) 生產靈活性高及適應性強

包模鑄造的射蠟模具可採用多種材料和各種方法製造，使它既適於大批量生產，甚至單件生產。大批量生產可採用鋼製模具或鋁合金模具，小批量生產可採用低熔點合金模具，樣品研製可直接採用矽膠模具或RP(快速成型法)代替蠟模。

二、包模鑄造與其他精密鑄造法的比較

包模鑄造的陶瓷殼模法與陶模法及石膏模法……等鑄造法各具特色，其個別適用的材質、精密度、鑄件重量及生產應用的情形，參考表2-1所示。



表2-1 各種精密鑄造法之比較

特性	精密鑄造法		
	陶瓷殼模法	陶模法	石膏模法
應用材質	任何金屬合金皆適用(多用於超合金、合金鋼、不銹鋼、特殊鋼、鋁合金)	任何金屬合金皆適用(多用於合金鋼)	銅合金熔點以下皆適用(最適合銅合金或鋁合金)
尺寸精度	一般公差±0.5%以下(一體成型，無分模面)	一般公差±0.5~±0.2%以下(分模面垂直方向精度較差)	一般公差±0.5~±2.0%以下(分模面垂直方向精度較差)
表面粗糙度	2-20 μ m Rmax[快速成型(RP)除外]	5-30 μ m Rmax	3-20 μ m Rmax
形狀	非常適合形狀複雜鑄件，尤其是內螺紋及盲孔的鑄件	非常適合形狀複雜鑄件，且表面可有精細圖樣	非常適合形狀複雜鑄件，且表面可有精細圖樣
壁厚	最小壁厚約0.5mm	最小壁厚約1.0mm	最小壁厚約1.0mm
重量	數克~250kg，最適合重量是數克~40kg	可達10g~10ton，最適合重量是0.5~300kg	數克~40kg，最適合重量是數克~20kg

(續下表)

表2-1 各種精密鑄造法之比較(續)

特性	精密鑄造法		
	陶瓷殼模法	陶模法	石膏模法
機械性質	可獲得單晶及方向性結晶。其組織可調整	性質較佳，有較快冷卻速度，可獲得微細晶粒	冷卻速度較慢，結晶易變粗大
生產力	少量多樣到大量生產均適合，但自動化程度較低，生產力中等	適合少量到中量，生產力中等	少量多樣到大量均可達到，生產力中等
經濟性	成本高(對難加工材質較有利)，經自動化生產降低成本	成本稍高(對合金鋼材質較有利)，適合金屬模具生產	成本稍高(對輕合金材質較有利)，僅適合鑄造非鐵合金材料及琉璃鑄造
用途	噴射引擎、燃氣渦輪引擎葉片、火箭原子爐、汽車、通信器材、紡織機、藝術品、運動器材、人工關節……等	金屬模具(鑄鐵、合金鋼、銅合金)、一般機械零件(如增壓機、噴嘴及螺桿、壓縮機螺桿、泵之葉輪……等)	3C產品、琉璃、其他藝術品、鋁合金葉片、鋁合金或是銅合金之金屬模具

資料來源：鑄造工學便覽。

三、包模鑄造的優缺點

(一) 包模鑄造法的優勢

1. 精密的尺寸公差

脫蠟鑄造可以製造無須預留加工量的鑄件，可以鑄造形狀複雜，表面精細，尺寸準確，機械性能高的產品。脫蠟精密鑄造零件可滿足精密尺寸公差，而不須任何機械加工，在某些情況下，公差勝過一切作業標準，因此若您欲採購零件時，廠商將可提供您精密的公差範圍。

- 可以在保證尺寸公差和形狀公差的前提下，製造單件重量從數克到數百公斤的鑄件。

3. 無須或減少二次加工，降低成本
節省大筆經費，是促使許多買主由其他製造方法改變成脫蠟精密鑄造的動機，一般來說，成本降低之幅度約在50%以上。本項為採用脫蠟精密鑄造所隱藏的利益，以脫蠟精密鑄造出來之零件，有90%以上不需加工即可使用，因此那些銑切、車削、搪孔等加工精製之工具機均可不用。
4. 合金的選擇從黑色金屬到有色金屬，幾乎沒有限制
實際上任何合金，均能用脫蠟鑄造，如果遇到生產某一零件，其合金是難切削或不可能切削時，一般脫蠟精密鑄造就是該零件之最好生產方法，況且有些合金較適合脫蠟精密鑄造，因此合金之選擇您可以與精密鑄造廠，商討一種更適合您所需之合金，而使零件在脫蠟精密鑄造中更有效率、更完美。
5. 可以鑄造需要由數個零件組合成部件，一次成型，大大降低加工及組裝成本，設計相當具有彈性。
6. 不管是簡單或複雜的形狀，幾乎都能採脫蠟精密鑄造，複雜組合配件，可以簡單鑄出孔、溝、斜角、鋸齒狀、齒槽，凸台，文字圖案，甚至一些螺紋、薄斷面、刀口及其他形態，均能以脫蠟精密鑄造法生產鑄造。
7. 模具費用低廉、變更設計、改變材質方便快捷，可縮短從試製到批量生產的時間。

(二) 包模鑄造法的限制

1. 鑄件毛胚之鑄造流程比較長。
2. 小批量的生產成本較其他方法為高。
3. 使用大量而且高價的補助材料(副料)，如蠟與耐火材料。
4. 鑄件尺寸及重量有最大的限制，因為包模強度有限。
5. 產品的不良率偏高，除非鑄造方案與流程控制良好否則高廢品率可能使精密鑄造顯得不經濟。

2-1.2 包模鑄造種類

包模鑄造基本上可分為實體陶模法(Investment Flask Casting or Investment Solid Mold Process)與陶瓷殼模法(Investmentshell Casting or Ceramic Shell Mold Process)，兩者最大的不同：一個是直接將泥漿注入放有蠟樹的砂箱中，另一個則是利用反覆的沾漿及淋砂作業而形成一定厚度的耐火材料層的殼模。陶瓷殼模法是將實體陶模法改良的鑄造法，台灣的包模鑄造幾乎全部採用陶瓷殼模法。

一、實體陶模法(Investment Flask Casting or Investment Solid Mold Process)

此種包模鑄造法係在蠟樹外圍先套上一個型框，將泥漿直接注入型框中，完全充滿模框，將蠟樹包圍，形成一個實體鑄模，待其自硬性凝固後，然後經脫蠟燒結後再鑄入金屬熔液，如圖2-3所示。

二、陶瓷殼模法(Investmentshell Casting or Ceramic Shell Mold Process)

利用水玻璃(Na_2SiO_3)、矽酸乙脂(Ethyl Silicate)或矽酸膠等當作黏結劑，與粉狀耐火材料調配成泥漿，將消失性模型(Disposable Mold)反覆沾漿及淋砂，使消失性模型表層經由反覆式的沾漿及淋砂作業而形成一層適當厚度耐火材料的殼模包覆在蠟樹外圍的方式，設法利用加熱使消失性模型材料消失及將陶瓷殼模燒結後，並鑄入金屬熔液，等金屬冷卻凝固後，將陶瓷殼模敲碎所獲得的鑄件，如圖2-4所示。現今工業零件、醫療器材、高爾夫球頭、航太精密工業零件及武器等鑄件，大部分均採用此種鑄造法生產。

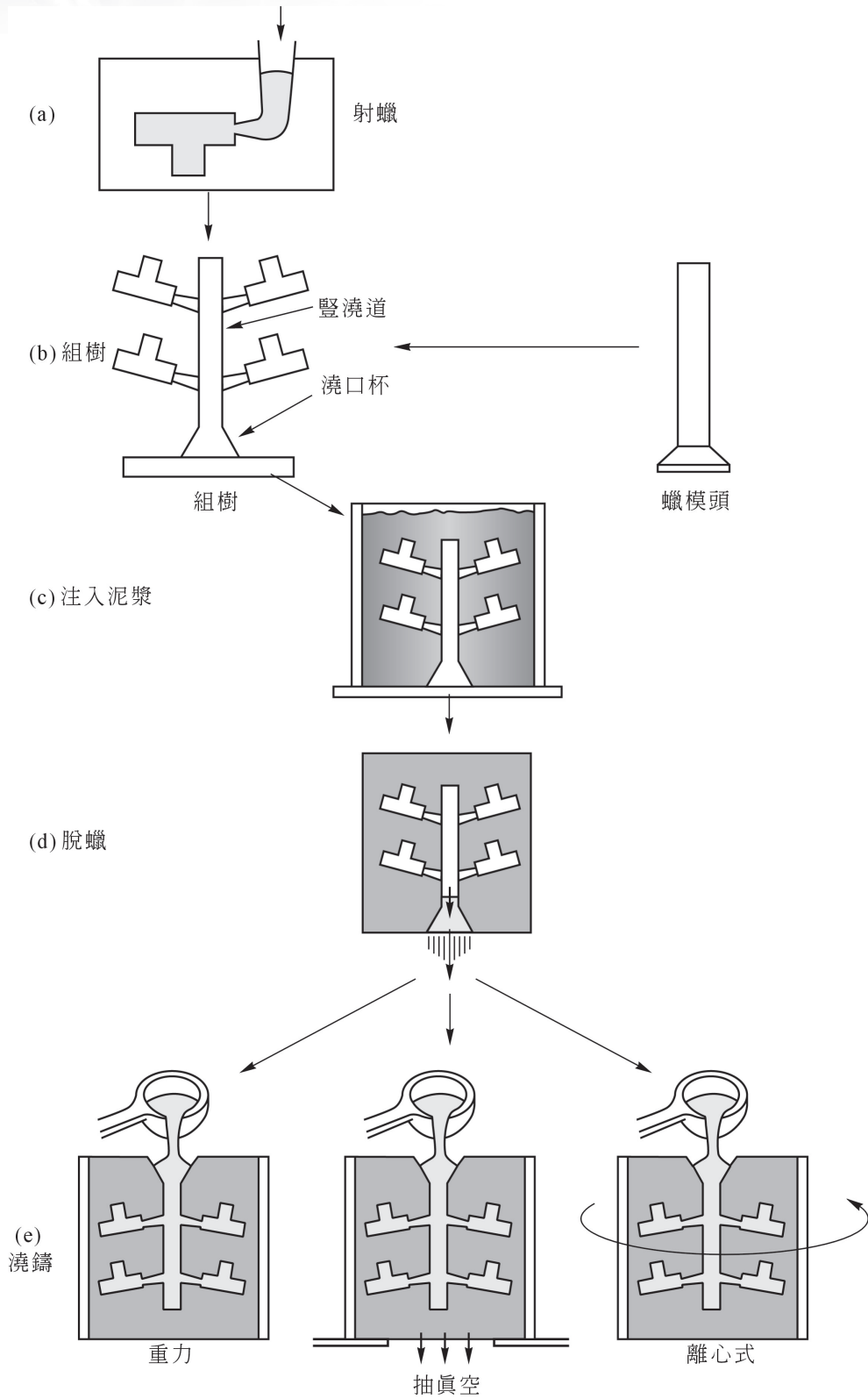


圖2-3 實體陶模法

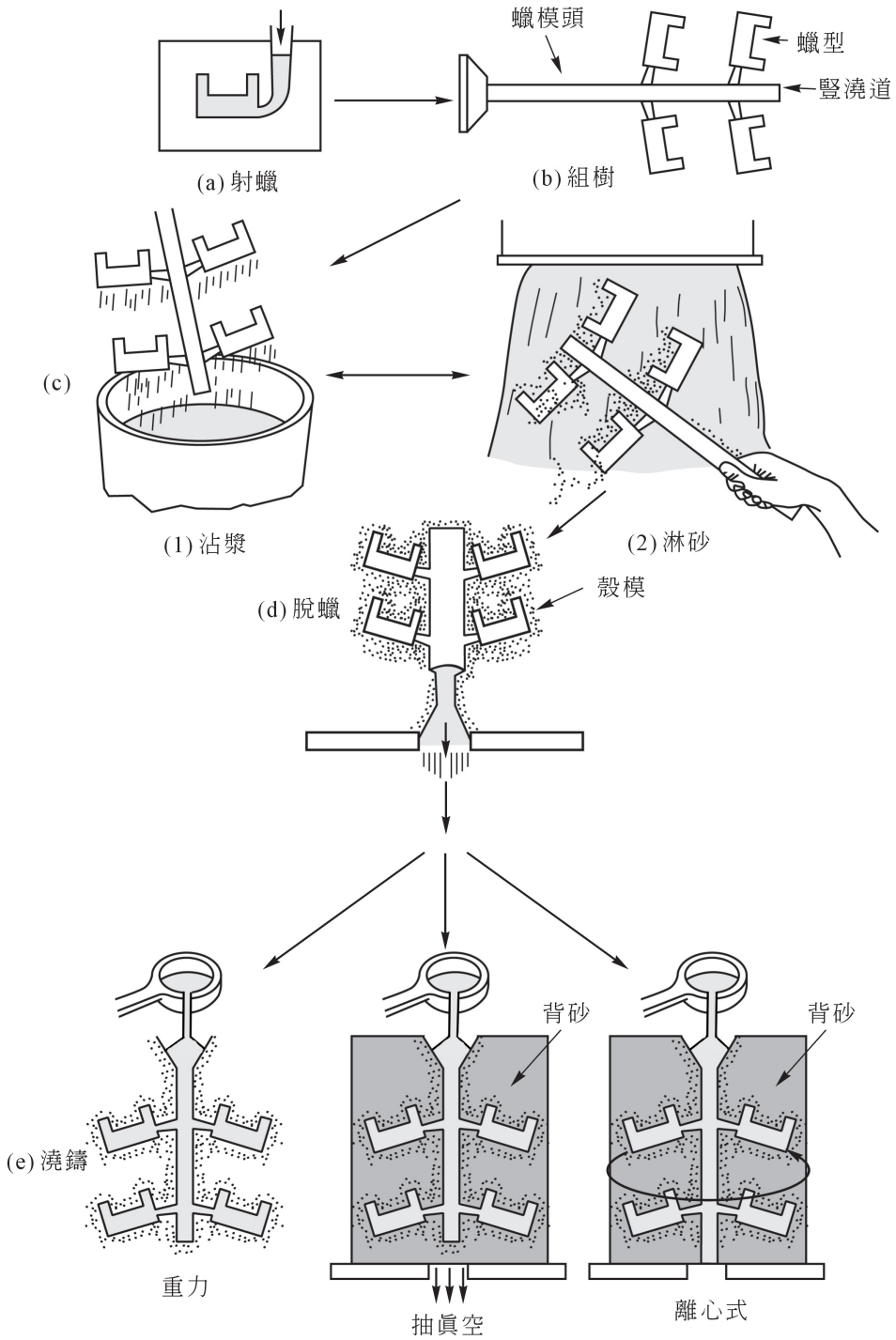


圖2-4 陶瓷殼模法

2-1.3 包模鑄造產品的應用與材質選用

隨著包模鑄造技術的發展其應用產品種類亦漸廣泛，產品範圍包含：

一、高爾夫球頭，如圖2-5所示

以全球一年消費約5,000萬支高爾夫球桿計算，台灣生產高爾夫球頭的四大廠商復盛、大田、明安、鉅明在兩岸之球頭年產量合計約達3,400萬支，佔全球市場70%，因此台灣不愧稱為世界的高爾夫球的王國。一組球具中有9支鐵桿、3支木桿及1支推桿。鐵桿球頭以不銹鋼、低合金鋼(用於挖起桿)為主，木桿頭材質則以鈦合金及不銹鋼為主，推桿以採用不銹鋼精密鑄造為主。



圖2-5 高爾夫球頭
(參照0-1頁彩色圖)

二、閥製品

閥製品應用之層面廣，凡是需控制流體流量、速度、方向……等之行業都會使用到閥，而使用最多種類者就是石化工業。材質有不銹鋼、合金鋼、碳鋼……等，如圖2-6所示。