

# 精密鑄造能力本位訓練教材 介紹精密鑄造作業流程

編號：PMF-IPC0105

編著者：張晉昌

審稿者：吳丞恭

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

## 單元 PMF-IPC0105 學習指引

在你學習本單元之前，你應該要先瞭解精密鑄造的種類與應用，且學習本職類單元教材的先後關係，可先參考背面之能力目錄。假如你認為自己已經認識精密鑄造有那些種類及其個別的應用範圍的話，請翻開本教材第 1 頁開始學習；假如你認為自己還不熟悉，請將本教材放回原位，並取出編號 PMF-IPC0103 之教材開始學習，或請教你的老師。

## 引言

由於精密鑄造（precision casting）所生產的鑄件尺寸精密、公差小、表面光滑，且可鑄造極小型內外表面複雜的零件，因此深受國內外鑄造從業者所重視與採用。尤其是包模鑄造法（investment casting）中的脫蠟鑄造法（lost wax casting），可大量生產品質、價值均相當優異的精密鑄件，多年來已為台灣建立了高爾夫球頭及球具的世界王國之美譽，近年來國內少數精密鑄造業者開發成功，採用脫蠟離心真空鑄造鈦合金高爾夫球桿頭精密產品，創造了相當可觀的業績與利潤，更是令人刮目相看。

好奇嗎？你想一探創造此項奇蹟的精密鑄造法嗎？嚴格來講，它只是多種精密鑄造法中的一種而已，但因它的優點、特色多，為大多數的精密鑄造業界所採用，且產量亦佔精密鑄件中的絕大多數，它的詳細名稱應叫做陶瓷殼模脫蠟鑄造法（ceramic shell mold lost wax casting），亦是本職類所要介紹的主要內容（詳見本職類的工作描述）。

本單元學習活動二，有關陶瓷殼模脫蠟鑄造作業流程之圖片，大部份係由德國布朗克精密鑄造公司（Feinguss Blank GmbH）提供拍攝，特此致謝。

迫不及待了嗎？下一頁開始，你就可以進入本單元的學習內容活動了，祝你收穫豐盈。

## 定義

**精密鑄造法**：廣義的精密鑄造泛指所有能生產較一般濕砂模鑄件更為精密的鑄造方法，包括壓鑄法（die casting）、殼模法（shell mold process）…等；而狹義的精密鑄造係指包模鑄造法、陶模鑄造法（ceramic mold process）及石膏模鑄造法（plaster mold process）等三種可生產精密鑄件的方法。

**包模鑄造法**：包模鑄造法係以可消失性材料（disposable materials）製作模型，然後於模型四周包覆一層厚度適當的耐火材料當作鑄模（mold），鑄模材料充填完成後，不必分開鑄模取出模型，而係將鑄模與模型同時加熱升溫，則模型材料熔融流出或消失而形成模穴，完成鑄模製作，故此法通稱為包模鑄造法。此法常用的模型材料有蠟、水銀、保利龍及熱塑性塑膠等。

**脫蠟鑄造法**：採用蠟當作模型材料之包模鑄造法，當鑄模材料充填完成後，鑄模與模型同時加熱時，蠟模軟化熔落脫出耐熱鑄模，完成具有精密模穴的鑄模，故通稱為脫蠟鑄造法。由於模型蠟取得容易、價格合理、製程方便且易控制，鑄件精密度及品質亦可達相當水準，故此法為國內外最常用、產量亦最多的一種精密鑄造法，一般所謂的精密鑄造法亦大都係指脫蠟鑄造法而言。

**陶瓷殼模脫蠟鑄造法**：脫蠟鑄造法的鑄模材料採用耐火泥漿（如矽酸膠或矽膠乙脂）及耐火砂（如鋯砂、矽砂、馬來砂）等材料，鑄模的製程係採沾漿、黏砂及陰乾後重覆數次，以形成一層性質與陶瓷相近的殼模包覆在蠟樹外圍的方式，脫蠟後形成一般所謂陶瓷殼模，以便澆鑄合金鋼、超合金等高溫高級精密鑄件的鑄造方法，稱為陶瓷殼模脫蠟鑄造法，此法除可鑄造高爾夫球桿頭及高級手工工具外，主要用於生產航空器材、醫療器材、電子零件、國防武器、電腦通訊器材等零組件。

**實體鑄模脫蠟鑄造法**：脫蠟鑄造法的鑄模材料採用耐高溫石膏材料，鑄模的製程係在蠟樹外圍先套上一個型框，然後灌入石膏泥漿，完全充滿模框，形成一個實體鑄模，脫蠟後鑄造銅合金、鋁合金等熔點較鋼鐵為低的非鐵合金材料，故此法稱為實體鑄模脫蠟鑄造法，此法亦常用於生產金銀飾品、銅藝品及各種五金機械或家具零組件。



## 學習目標

- 一、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出脫蠟精密鑄造法的類別、作業流程及生產模式。
- 二、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出陶瓷殼模脫蠟精密鑄造之製程及作業要點。

---

假如你認為能夠勝任以上學習目標的能力，請翻至第 45 頁做學後評量。假如你需要更多學習的話，請翻至下一頁。

## 學習活動

本單元的學習活動主要在於相關知識的傳授，你對於精密鑄造的生產作業流程，尤其是脫蠟精密鑄造的製程及其作業要點的認識與學習，可以由下列兩條途徑選擇一條途徑去學習：

一、閱讀本單元教材第 5 頁至第 46 頁。

二、閱讀下列參考書籍：

- (一) 張晉昌，1999 年，鑄造學，台北：全華科技圖書公司，360 頁～376 頁。
- (二) 林宗獻，1997 年，精密鑄造，台北：全華科技圖書公司，7 頁～150 頁。
- (三) 張晉昌，1987 年，精密鑄造技術教學普遍化之研究，台北：工業職業教育編輯指導委員會，10 頁～60 頁。

本教材的第一個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出脫蠟精密鑄造法的類別、作業流程及生產模式。

---

假如你認為能勝任上述目標之要求，請翻到第 16 頁做學習評量，如你需要多學一些的話，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

## 壹、脫蠟精密鑄造法的類別及作業流程

### 一、精密鑄造法的類別

廣義的精密鑄造（precision casting）泛指所有能生產較一般濕砂模鑄件更為精密的鑄造方法，包括壓鑄法（die casting）、殼模法（shell mold process）……等；而狹義的精密鑄造法係指包模鑄造法（investment casting process）、陶模鑄造法（ceramic mold process）及石膏模鑄造法（plaster mold process）等三類。

本單元之教材主要介紹包模鑄造法中之脫蠟鑄造法，而陶模鑄造法及石膏模鑄造法可參考編號 PMF-IPC0103 之教材內容。

### 二、包模鑄造法與脫蠟鑄造法

包模鑄造法係以可消失性材料（disposable materials）製作模型，然後於模型四周包覆一層適當厚度的耐火材料當作鑄模，鑄模材料充填完成後，不必分開鑄模取出模型，而係將鑄模與模型同時加熱升溫，則模型材料熔融流出或消失而形成模穴，完成鑄模製作，故通稱為包模法。

包模法可採用的消失模型材料有蠟、水銀（凍汞法）、保利龍（聚苯乙烯）及熱塑性塑膠（如 PE 或 PS）等，其中採用最廣、最普遍的是蠟模，因此，包模法一般稱為脫蠟鑄造法（lost wax process），且一般所謂的精密鑄造法亦大多係指脫蠟鑄造法而言。

### 三、脫蠟鑄造法的生產應用

脫蠟鑄造法並非最新的鑄造方法，其歷史可遠溯至數千年前，在古埃及便已盛行著古典的脫蠟鑄造法，用以鑄造形狀複雜的青銅工藝品。直到第二次世界大戰期間，歐美國家為了生產大量的武器零件，才開始使此法邁向工業化的途徑，現在此法已成為製造噴射機引擎等高級精密鑄件不可或缺的技術。

脫蠟鑄造法的生產應用範圍廣泛，一般除了常用於生產高爾夫球具中之球桿頭及手工具外，主要用於生產航空器材、醫療器材、電子零件、光學器材、國防武器、核能電廠、紡織機、打字機及電腦通訊器材等零組件。圖 1 至圖 3 係採用脫蠟法所生產的各種精密鑄件之部份實例。

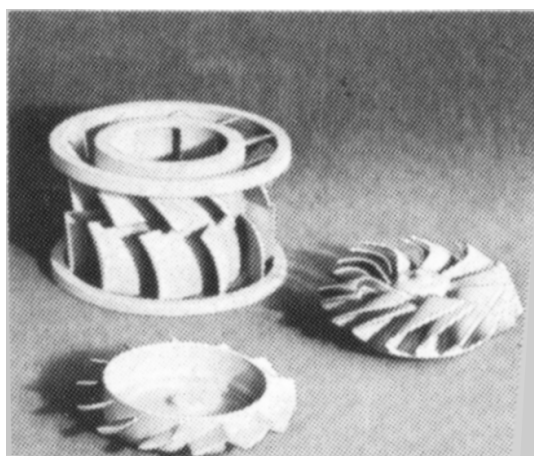


圖 1 脫蠟精密鑄件實例一～渦輪機之葉輪

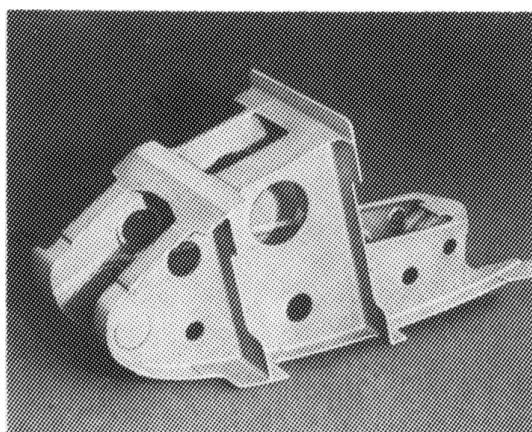


圖 2 脫蠟精密鑄件實例二～戰鬥機機翼固定鉸

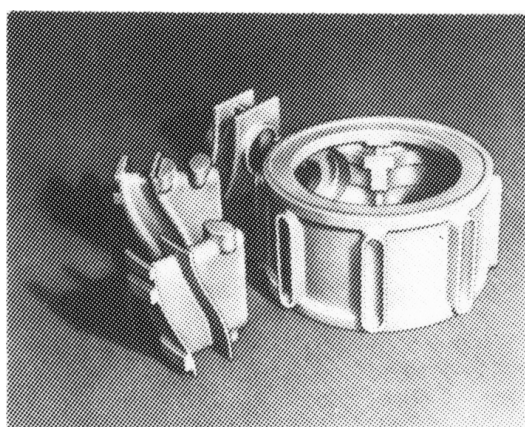


圖 3 脫蠟精密鑄件實例三～箱殼及附件

#### 四、脫蠟鑄造法種類及生產流程

脫蠟鑄造法為包模鑄造法中最常用的方法，其生產流程主要分成兩種：一為陶瓷殼模法(ceramic shell mold)；另一種為實體鑄模法(solid mold process)。前者適合於熔點較高的合金鋼等材質，因此，常以鋯粉、鋯鈔及馬來砂(mullite)等作為主要的包模耐火材料；後者適合於較低溫的非鐵金屬，如鋁合金、銅合金等之精密鑄造，常以耐高溫的石膏作為包模材料。

##### (一) 陶瓷殼模脫蠟鑄造流程

如圖 4 所示，陶瓷殼模脫蠟鑄造作業的主要流程依序為：準備模具及熔解蠟液、射製蠟模、組立蠟樹、沾漿、淋砂或黏砂、陰乾、重覆沾漿至陰乾數次、脫蠟與燒結、熔解與澆鑄、去殼與切割鑄件、修磨鑄件、鑄件矯正與檢測、成品包裝出貨等十二大主要工作項目及其他附屬的細節作業。

##### (二) 實體鑄模脫蠟鑄造流程

如圖 5 所示，實體鑄模脫蠟鑄造作業的主要流程依序為：準備模具及熔解蠟液、射製蠟模、組立蠟模、套上模框、灌石膏漿、脫蠟與燒結、熔解與澆鑄（必要時抽真空）、清理鑄件、切除鑄件、修磨鑄件、鑄件矯正及檢測、成品包裝出貨等共十二大項主要工作及其附屬細節作業。其中前三項及後三項工作與陶瓷殼模法相似，但實際生產作業時，由於兩類脫蠟鑄造法的適用材料及應用範圍不盡相同，因此，工作內容及實際作業仍有相當大的差異。



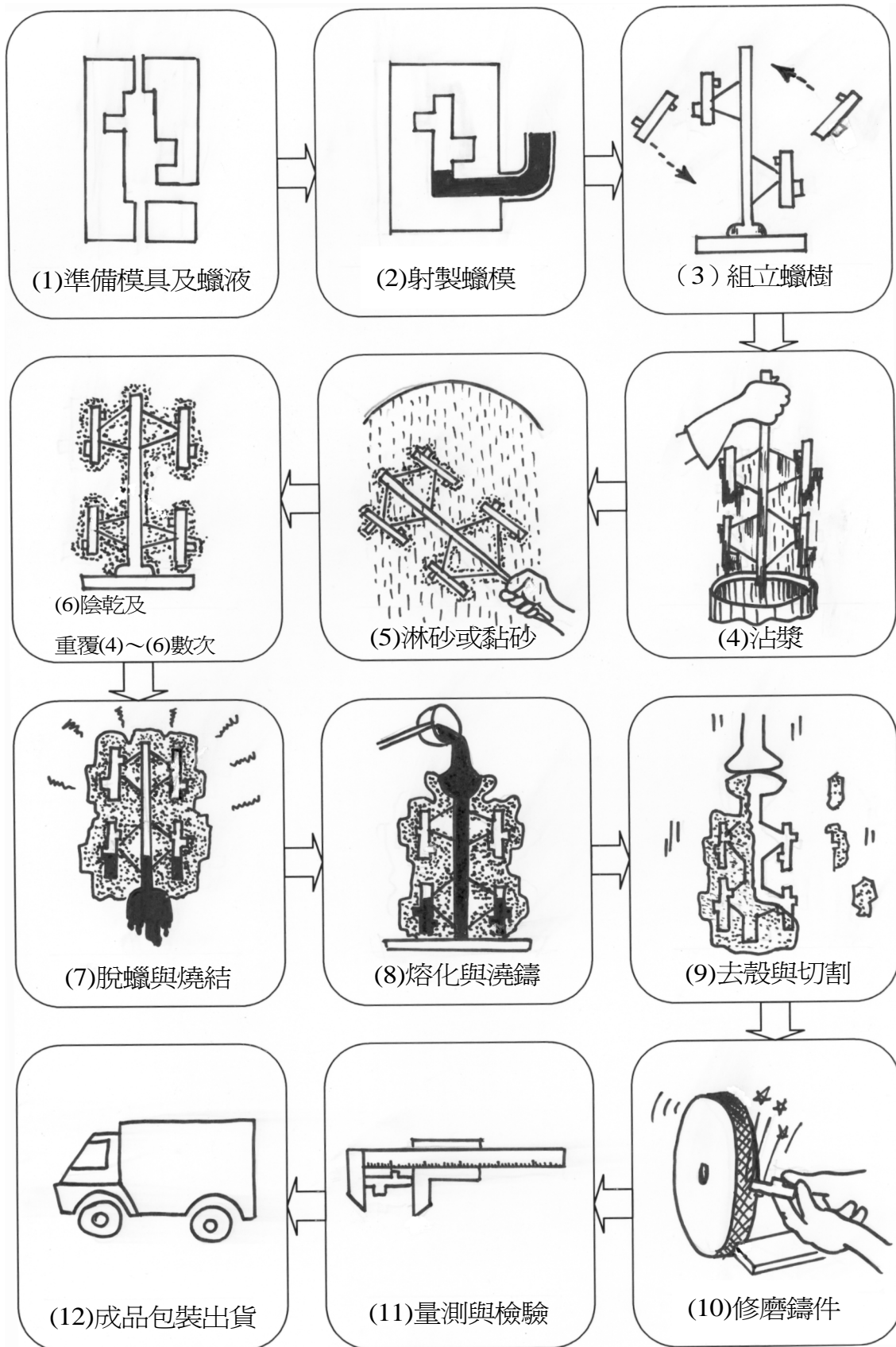


圖 4 陶瓷殼模脫蠟鑄造法的生產流程

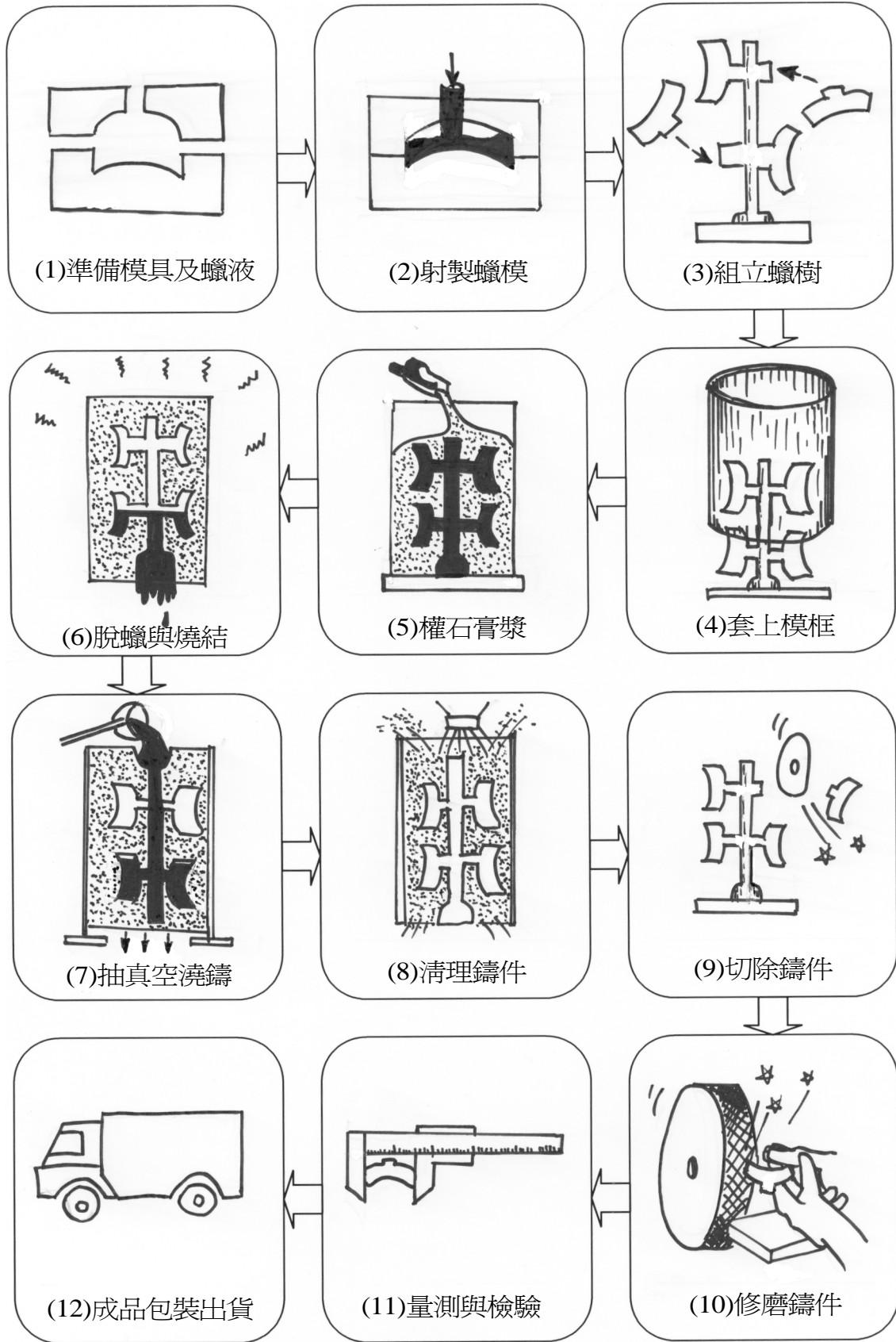


圖 5 實體鑄模脫蠟鑄造法的生產流程



## 貳、脫蠟精密鑄造法的生產模式

採用脫蠟鑄造法生產精密鑄件時，有很多不同的生產模式，主要係根據鑄件尺寸的大小、產量的多寡、創新設計或複製量產等不同而作為選用之參考，一般常用者為：小件大量生產模式、大型單件生產模式及創作式單件生產模式等三種，茲分別說明如下：

### 一、小件大量生產模式

大部分的脫蠟鑄造廠都是採用此法，以生產大批細小且複雜的精密鑄件，因此，大量的蠟模製作都需使用模具（die），且將很多蠟模組合在澆道上，形成樹狀的蠟簇（wax cluster），一般通稱為蠟樹（wax tree）；然後製作鑄模（即所謂的包模），脫蠟後澆鑄成所需鑄件，故一次可鑄造大量（N 個）鑄件。

此種生產模式適用於陶瓷殼模法（如圖 4 所示），及實體鑄模法（如圖 5 所示），亦即適合於生產各種材質的精密鑄件。圖 6 及圖 7 即為飛機發動機渦輪葉片（turbine blade）陶瓷殼模脫蠟鑄造法之實例。我國中山科學研究院航空工業發展中心（目前已改組為漢翔航空工業股份有限公司），已能應用此法配合真空鑄造方式，並適當控制鑄模的溫度梯度（thermal gradient），及管制方向性凝固（directional solidification）的速度等技術，成功地生產單晶（single crystal）渦輪葉片，以提高渦輪機的工作溫度及飛機的性能，這對我國飛機自製率的提昇，以及航空國防工業的發展具有相當大的貢獻。

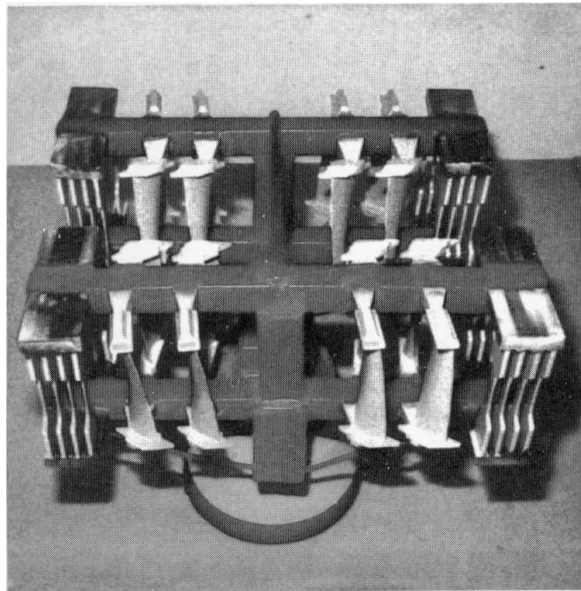


圖 6 小件大量生產模式～飛機渦輪葉片之蠟樹

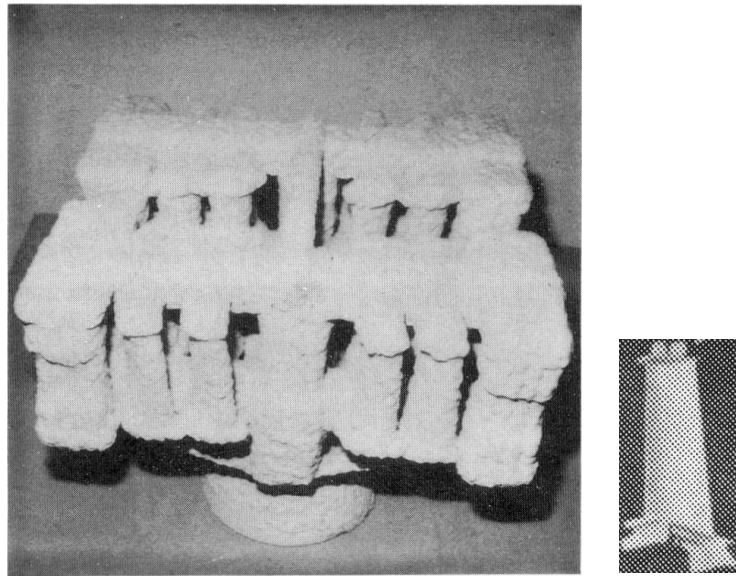
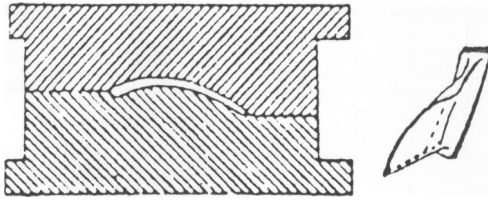


圖 7 小件大量生產模式～渦輪葉片之陶瓷殼模  
(右下圖為鎳基超合金渦輪葉片精密鑄件成品)

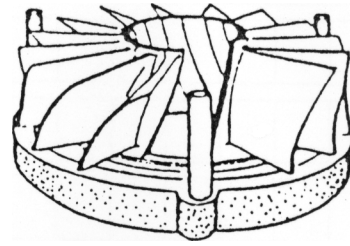
## 二、大型單件生產模式

大型精密鑄件，如整體渦輪轉子（integral turbine rotor）的鑄造，需將葉片與葉輪兩部分之蠟模先行組合，組成一個整體的渦輪蠟模，此時，一個渦輪蠟模上已有數片，甚至數拾片細小葉片，因此，若將數個或數拾個此類蠟模，仿照上述方法組合成蠟樹，以便大量生產，則可能顧此失彼，反而因金屬熔液容量不足、溫差大、流動性不佳等因素，而造成葉片滯流（misurn），導致澆鑄失敗，得不償失。

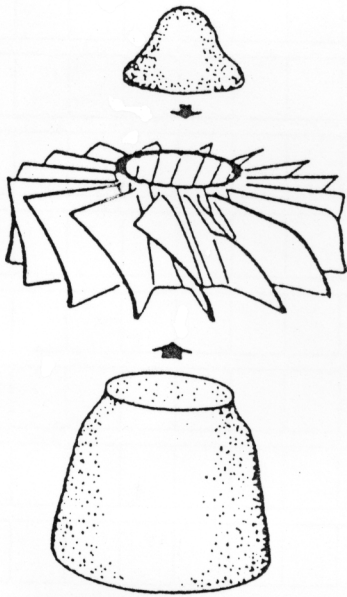
因此，諸如此類的大型精密鑄件，必要時，一個陶瓷殼模只生產一個鑄件，如圖 8 所示。但若有金屬模具可射製蠟模，只要建立合理的生產線，亦可從事大量生產工作。



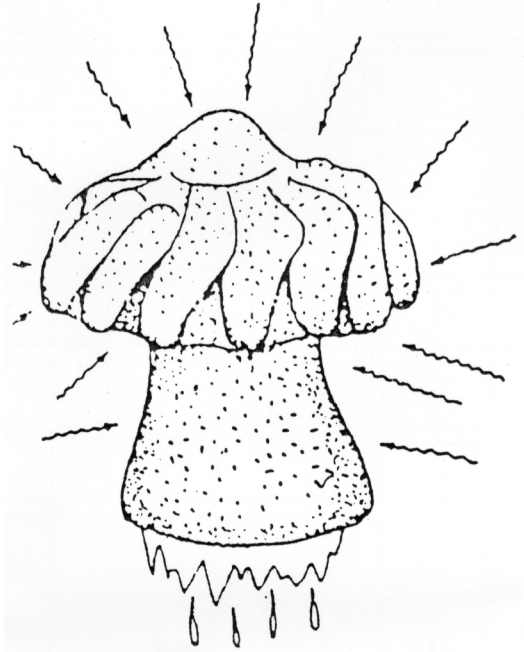
(1) 模具及葉片蠟模



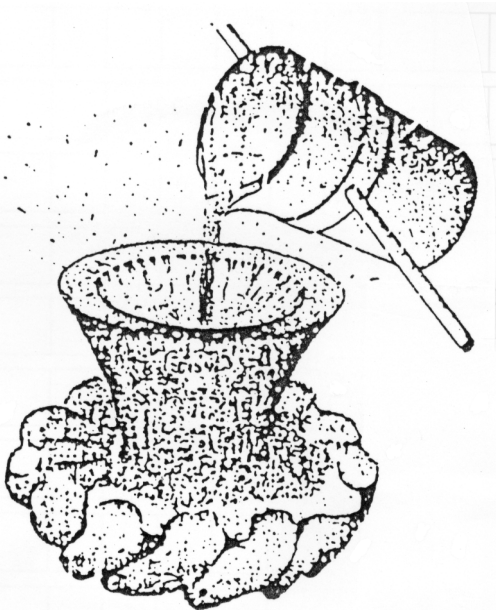
(2) 組合葉輪蠟模



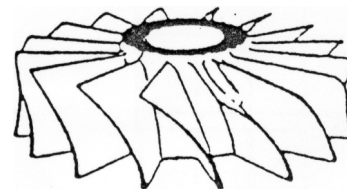
(3) 組合澆道蠟模



(4) 製作包模後加熱脫蠟



(5) 熔化澆鑄



(6) 清理完成鑄件

圖 8 大型單件生產模式~整體渦輪轉子之精密鑄造



### 三、創作式單件生產模式

蠟模之製作，除了可用模具來射製外，亦可以手工製作。因為模具費用較高，因此，藝術品或創作品等少量生產的精密鑄件，應以手工製作蠟模，以節省成本。其製作程序是先用熔蠟塑造成所需形狀粗坯，再精細雕刻成形，然後製作包模使用。

大型佛像之創作，如圖 9 至圖 11 所示，為節省蠟、金屬材料之使用量，及減輕佛像重量，可先用耐火黏土塑造佛像粗坯作為心型，以便鑄造中空佛像，然後才在心型外塗上一層熔蠟，其厚度即為將來鑄件厚度，等蠟凝固後，再精細雕刻佛像外形，然後製作包模，脫蠟後澆鑄成形。

創作式生產模式由於沒有模具，因此，一個蠟模只能製造一個鑄模，且脫蠟後，蠟模已不復存在，故若澆鑄失敗即無成品，澆鑄前不得不慎重考慮各項變數；而澆鑄成功的話，也只會有一件成品，當然，也因此而使得創作品更具價值，俗話說，藝術是無價之寶，確是一點也不為過。故此法若想大量生產的話，只得以此創作品（蠟模或成品）為模型，製造適當的模具（如矽膠模等），然後再進行蠟模、包模等製造作業，以便進行複製的工作。但由於金屬熱脹冷縮的特性，以成品製作複製品將較原創作品為小，而外形之精細光滑度卻可與原創作品相當。



(1)先用耐火黏土製作佛像粗坯



(2)塗蠟、雕刻佛像蠟模

圖 9 創作式佛像蠟模之製作



圖 10 佛像之包模製作（澆鑄口在底座）



(1)脫蠟鑄造完成之佛像粗胚



(2)修磨完成之精美佛像

圖 11 創作式精美佛像鑄造修磨完成

## 學習評量一

請不要參閱資料或書籍，在下列各題寫出正確的答案。

## (一)是非題 (40%)

- ( ) 1. 壓鑄法亦是一種廣義的精密鑄造法。
- ( ) 2. 脫蠟鑄造法是一種包模鑄造法。
- ( ) 3. 耐高溫石膏可作為陶瓷殼模脫蠟鑄造法之鑄模材料。
- ( ) 4. 超合金精密鑄件應採用陶瓷殼模法生產。
- ( ) 5. 陶瓷殼模係蠟樹沾漿、黏砂後立即重複數次沾漿、黏砂之作業而得之鑄模。
- ( ) 6. 小件大量生產模式只適用於陶瓷殼模脫蠟鑄造法。
- ( ) 7. 大型單件生產模式只要建立合理的生產線，亦可大量生產。
- ( ) 8. 創作式單件生產模式無法複製原創作之精密鑄件。

## (二)選擇題 (30%)

- ( ) 1. 包模鑄造法的模型材料為 (1)蠟 (2)保利龍 (3)塑膠 (4)以上皆可。
- ( ) 2. 陶瓷殼模法與實體鑄模法作業流程中相似的工作包括下列那一項？(1)沾漿 (2)灌漿 (3)組立蠟樹 (4)以上皆非。
- ( ) 3. 下列那一項工作不屬於陶瓷殼模法作業流程？ (1)套型框於蠟樹外圍 (2)射製蠟模 (3)脫蠟與燒結 (4)矯正與檢測。
- ( ) 4. 下列那一項工作不屬於實體鑄模法作業流程？ (1)套型框於蠟樹外圍 (2)沾漿與黏砂 (3)脫蠟與燒結 (4)矯正與檢測。
- ( ) 5. 下列那一種鑄件材質不適合採用石膏模脫蠟鑄造法生產？ (1)銅合金 (2)合金鋼 (3)鋁合金 (4)以上皆是。
- ( ) 6. 脫蠟鑄造法可生產下列那些零組件？ (1)國防武器 (2)醫療器材 (3)航空器材 (4)以上皆是。

## (三)簡答題 (30%)

1. 陶瓷殼模脫蠟鑄造法的主要作業流程為何？
2. 實體鑄模脫蠟鑄造法的主要作業流程為何？

筆記欄

## 學習評量一答案

你的答案應該包括下列要點

## (一) 是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 只可作為實體鑄模脫蠟鑄造法之鑄模材料。
4. (○)
5. (×) 應等陰乾後，再重複數次沾漿、黏砂及陰乾之作業。
6. (×) 亦可適用於實體鑄模脫蠟鑄造。
7. (○)
8. (×) 可以蠟模或成品製作矽膠模等彈性模具進行複製作業。

## (二) 選擇題

1. (4)
2. (3)
3. (1)
4. (2)
5. (2)
6. (4)

## (三) 簡答題

1. 陶瓷殼模法主要流程為：準備模具及熔解蠟液、射製蠟模、組立蠟樹、沾漿、淋砂或黏砂、陰乾、重覆沾漿至陰乾數次、脫蠟與燒結、熔解與澆鑄、去殼與切割鑄件、修磨鑄件、鑄件矯正與檢測、成品包裝出貨等十二大項。
2. 實體鑄模法主要流程為：準備模具及熔解蠟液、射製蠟模、組立蠟模、套上模框、灌石膏漿、脫蠟與燒結、熔解與澆鑄、清理鑄件、切除鑄件、修磨鑄件、鑄件矯正及檢測、成品包裝出貨等共十二大項。

---

假如你的答案與上述之重點相同，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述之重點相同，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻到第 5 頁重新閱讀，以便發現你的錯誤之處，並將第 16 頁上的錯誤改正，然後翻到第 19 頁。



恭喜你！你已完成了第一個學習目標，你已認識脫蠟精密鑄造法的類別、作業流程及生產模式。接下來，你可以開始學習陶瓷殼模脫蠟精密鑄造之製程及作業要點。

本教材的第二個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出陶瓷殼模脫蠟精密鑄造之製程及作業要點。

---

假如你認為能勝任上述目標之要求，請翻到第 42 頁做學習評量，如你需要多學一些的話，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

## 陶瓷殼模脫蠟鑄造之製程及作業要點

如圖 4 所示，陶瓷殼模法係以耐高溫的鑄模材料，包覆在蠟樹的四周後，以加熱的方式，使蠟模熔化流出而形成模穴的造模方式。鑄模只是一層殼，且鑄模材料係類似陶瓷的耐火材料，故稱為陶瓷殼模脫蠟鑄造法。

由於蠟模表面光滑、鑄模內層材料為耐火粉末調配的泥漿液，耐火度高、殼模通氣性佳，且起出模型（脫蠟）時鑄模不分開等因素，因此，此法可鑄造各種合金鋼、鈦合金之精密鑄件，是精密鑄造法（precision casting）中最常用且產量最多的一種鑄造法。故航空引擎零件、核能發電機零件、原子爐零件等特殊耐熱的超合金精密鑄件及耐蝕零件，都是採用此法鑄造。

茲將陶瓷殼模脫蠟鑄造法生產流程中，實際製程及詳細作業要點敘述如后：

### 一、準備蠟液

#### （一）熔蠟

模型用蠟對於脫蠟鑄造生產工廠而言，需要量很多，因此，為了提高工作效率，可用一般的電熱爐急速將蠟溶解，然後再調和使用，圖 12 顯示，作業員正在攪拌熔融蠟液，以便製作蠟模。

模型用蠟種類很多，性質各異，若你不清楚或想先一睹為快，可取出編號 PMF-IPC0201 之教材學習，或請教你的老師。



圖 12 溶解蠟液作業

### (二) 調和蠟液

將高溫的蠟液倒入自動攪拌蠟桶中，配加一些常溫片狀模型蠟，以降低蠟溫及增加熔蠟量。如圖 13。

### (三) 蠟液保溫

一般而言，剛熔好的蠟液溫度偏高，製作蠟模時容易產生氣泡，且蠟模容易變形，因此，應利用恒溫爐保持熔蠟於所需的溫度範圍內。如圖 14。



圖 13 調和蠟液作業



圖 14 蠟液保溫恒溫處理

## 二、擠射蠟模

### (一) 射蠟三要素

利用射蠟機將熔蠟擠射進入金屬模具中，蠟模精密完美才可獲得精密鑄件，因此，射蠟機的操作應特別注意三項因素：

1. 蠟液溫度：由於蠟模大小、形狀、複雜程度、厚薄等條件的不同，射蠟時所需的蠟溫不盡相同，正式生產前應先試驗出其適合的數據，並於射蠟機上設定所需溫度。一般在 50~60°C 之間。
2. 射蠟壓力：此法蠟模大都細小精密，因此常需藉助較高壓力，將半熔融的蠟液擠射進入模具內。射蠟壓力低則 20~30 Bar，高可達 80~100Bar（1 Bar 即為一大氣壓，等於 1 kg/cm<sup>2</sup> 或 14.7 psi）。
3. 時間：包括射蠟時間及維持時間，短者數秒鐘，長者需數拾秒，視模型大小、形狀及蠟的種類等之不同而定。

這些變數可於試作階段獲得最佳之數據，將此資料輸入電腦中，欲正式生產時，由電腦讀出，並將射蠟機設定好所需之數值，如此，可避免人為之不當操作而失敗，故實際從業操作員不需具有高深的專業知識，只需有熟練的技術即可，如圖 15 所示。



圖 15 擠射蠟模作業

## (二) 蠟模與模具

圖 16 可清楚看出，射蠟完成後，蠟模與模具及其流路情形，可藉助壓縮空氣將蠟模從模具中吹出，避免用手工工具挖出蠟模，以免蠟模變形甚或損傷。



圖 16 蠟模、模具及其流路

## (三) 蠟模儲存

儲存時，較大的蠟模可如圖 17 所示，分類存放於固定架子上；小型蠟模則應存放於盤內，排列整齊後將盛裝蠟模的盤子依次放在架子上。



圖 17 蠟模儲存架



#### (四) 蠟模水冷

大型蠟模～如圖 18 之蠟樹頭（澆口杯部分），射蠟完成後，應即刻放入水桶中，以防止變形。

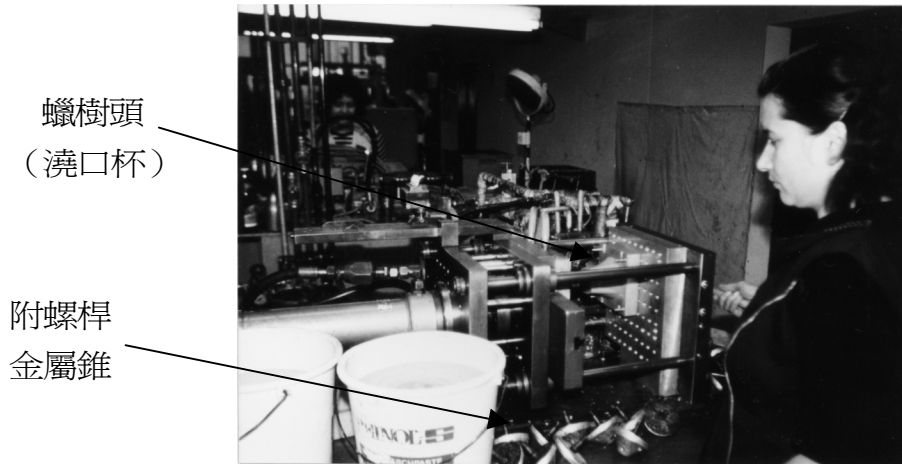


圖 18 蠟模水冷定型作業

注意圖 18 之平台上所放置的圓錐形金屬塊，其上有一螺桿凸出，此金屬錐是爲了配合機器人輔助生產（CAM）之用，射蠟時，將其包入蠟樹頭中，可減少蠟的使用量；又可增加蠟樹頭強度。圖 23 以後有其應用情形。

#### (五) 蠟模修整

形狀複雜的蠟模，如葉輪（impeller）、推進器（propeller）等，其模具是由很多獨立的散塊組合而成，分模面較多，因此擠射蠟模時，容易造成毛邊，故組立蠟樹之前，應先加以修整，以免鑄成金屬鑄件時修整困難。如圖 19。



圖 19 整修葉輪蠟模

### 三、組立蠟樹 (wax tree)

#### (一) 用蠟液焊合蠟模之流路系統

用定溫熔蠟盤將進模口與澆道焊合在一起，組成蠟樹，如圖 20 至 22。圖 20 係組立蠟樹的第一步，即將蠟模之進模口焊合於次澆道；其次將其焊牢於主澆道，如圖 21。最後將已焊合蠟模的主澆道焊上蠟樹頭形成蠟樹。如圖 22。



圖 20 組立蠟樹之一～焊合次澆道



圖 21 組立蠟樹之二～焊合主澆道



圖 22 組立蠟樹之三～焊合澆口杯（蠟樹頭）

### (二) 蠟樹儲存

組立完成的蠟樹，應靜置一天以上，以消除焊蠟時所造成的內應力，亦即應等蠟樹變形穩定後，才可繼續進行沾漿、沾砂的工作。如圖 23。

注意蠟樹懸吊處之把手，係利用具有內螺紋的把柄與圖 18 所見之螺桿組合而成，便於握持及裝在機器手臂上。

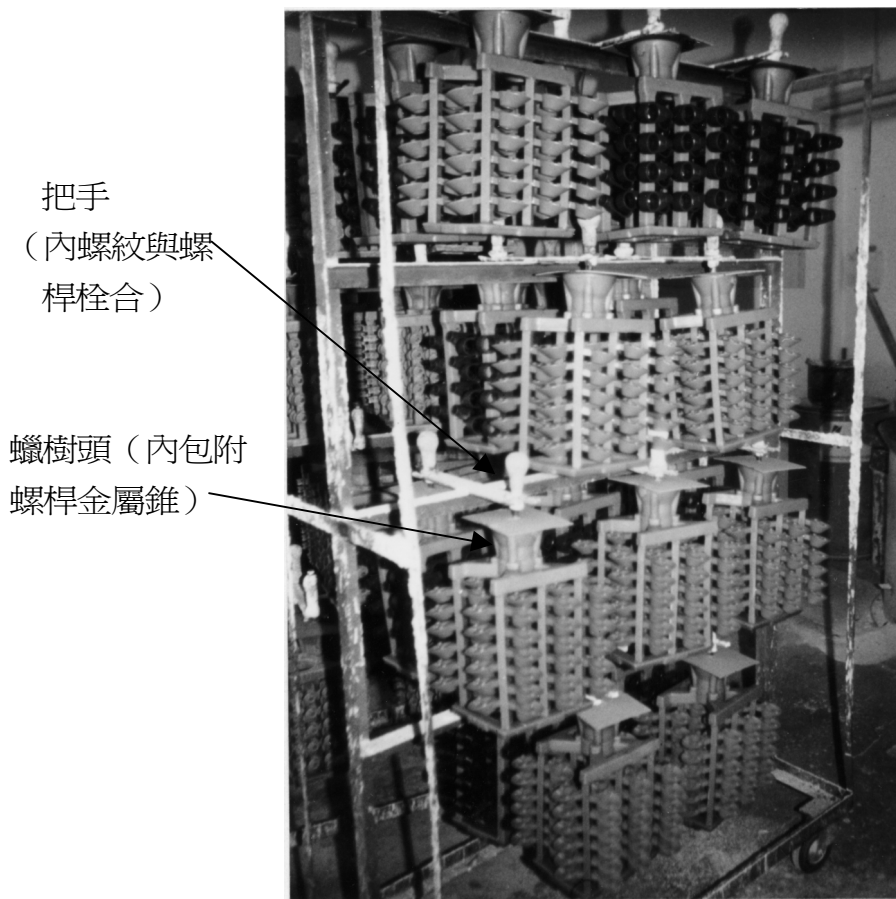


圖 23 蠟樹儲存架

### (三) 蠟樹清潔

蠟樹應用丁酮 (MEK)、甲醇或檸檬酸等清潔劑加以清潔，以清除蠟模表面的油脂、離型劑 (由模具而來) 或灰塵，以增加蠟模與漿液的親和力。

用丁酮或甲醇等揮發性溶劑清洗過的蠟樹，應再用酒精清洗；用檸檬酸等水性清潔劑時，則用清水加以清洗；以免清潔劑侵蝕蠟模而影響精密度。清潔後應用壓縮空氣吹去殘留酒精或水分。如圖 24。

由於丁酮具毒性，因此，應備有良好的抽風系統。目前大都改用檸檬酸等水溶性清潔劑取代丁酮，以保護人員的健康，及避免水污染環境。



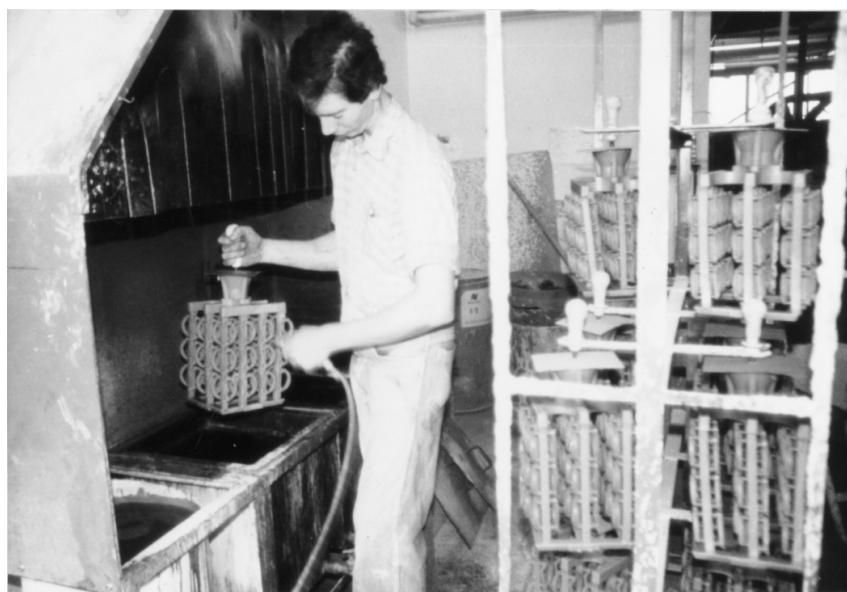


圖 24 蠟樹清潔作業

#### 四、陶瓷殼模製作

##### (一) 沾漿作業

陶瓷殼模的沾漿及黏砂作業可用人力或藉助機械手臂 (Robot)，後者可使本項作業更為確實、仔細；圖 25 顯示，機械手一次可同時處理四顆蠟樹的沾漿工作，工作效率為手工的四倍。



圖 25 機械手臂自動沾漿作業

首層泥漿係由矽酸膠或矽酸乙脂四十與鋅粉或熔融石英粉調合而成，必要時加入少許潤濕劑及消泡劑以增加其效果。首層泥漿的黏度應特別注意，太稀或太濃都將影響鑄造結果，可用如圖 25 沾漿桶邊之四號詹氏杯加以測定，一般以 30~35 秒為最佳。

為使漿液能均勻散佈裹覆在蠟模的四周，沾漿時應以一定角度浸入漿桶並稍加旋轉外，取出蠟樹後應反向傾斜約 45° 並緩速旋轉，以免漿液流向同一位置（下方）。如圖 26。

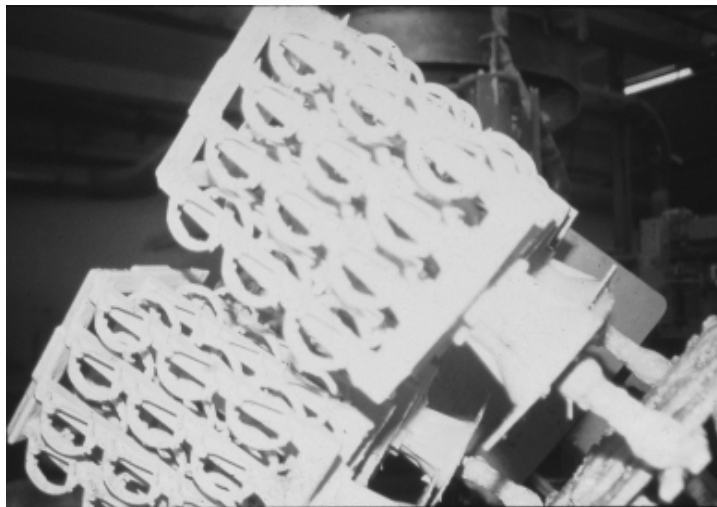


圖 26 機械手臂沾漿後自動反轉傾斜滴漿情形

## （二）黏砂作業

待蠟樹上之漿液不再大量滴落時，機械手臂將自動移至浮砂筒上方，以固定角度浸入耐火砂中，藉助漿液的黏性將耐火砂黏在蠟模上。如圖 27。



圖 27 機械手臂自動黏砂作業

首層耐火砂通常採用 80 目的銼砂，砂粒太粗將影響鑄件的表面光滑度，太細時耐火性能較差。而第二層以後的砂粒可較粗，通常為 20~65 目的馬來砂（mullite）等燒成的耐火材料，以增加通氣性。

黏砂作業早期大都採用由上而下的淋砂方式，此法容易使砂塵飛揚造成空氣污染；因此，現在大都採用類似圖 27 所示之浮砂筒，由砂筒下方吹入壓縮空氣，則蠟樹將可輕易的埋入砂筒中，以達到理想的黏砂效果。

### （三）自動沾漿黏砂系統

圖 28 為機械手正從事第二層以後的沾漿黏砂作業全景，操作員只需依生產指令的要求，利用按鈕選擇程式即可。

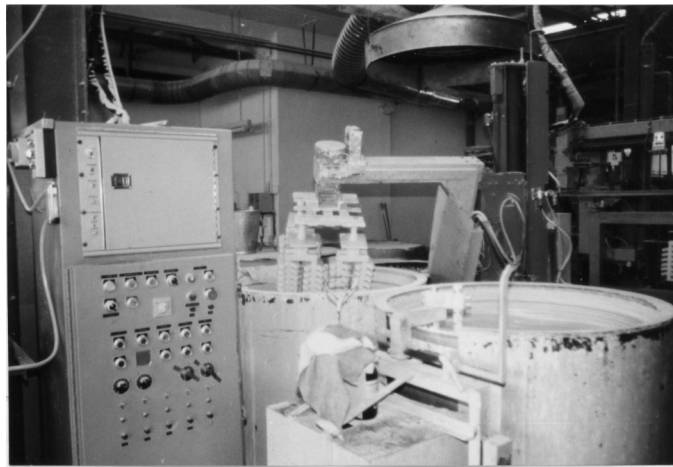


圖 28 機械手臂自動沾漿黏砂作業系統全景

由於第二層以後的黏度可較稀，因此，漿液桶一般配置 2~3 個，第二層以後的泥漿以 4 號詹氏杯測定，以 13~19 秒為較佳。浮砂筒一般亦配置 2~3 個，以盛裝不同粒度的耐火砂，便於黏砂使用。

在每次沾漿黏砂後，必須等其完全乾燥，才可進行下一次的沾漿工作，以免沾漿時，因上一層未乾燥而使砂粒溶落，這樣才能獲得品質優良的殼模。

### （四）萬能的機械手臂

在自動沾漿系統中，主要工作皆由機械手臂來完成，包括取放蠟樹、沾漿、黏砂等各種工作，由於其能緩慢的前進後退、上昇下降、傾斜等，甚至人力無法做到的任意角度旋轉，它都能代勞。如圖 29。

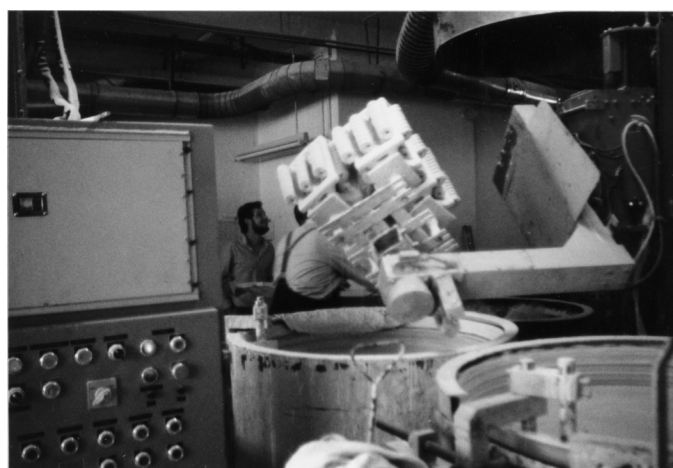


圖 29 機械手臂可作任意角度的旋轉

#### (五) 漿液調配

在沾漿過程中，由於砂粒散落及自然蒸發等影響，漿液的黏度會越來越濃且逐漸減少而影響工作，因此，沾漿桶旁邊應設置一快速調漿桶，以攪拌器快速調合所需漿液，並隨時作補充及測試，以確保漿液品質。如圖 30。



圖 30 耐火泥漿調配攪拌機



#### （六）自動輸送懸掛系統

通常每一蠟樹均需實施六次以上的沾漿及黏砂作業，以便獲得適當的厚度及強度之殼模；而每次沾漿黏砂之間隔，通常在一小時以上，好讓沾附之漿液獲得確實乾燥的時間，因此，需安置一系列的自動輸送懸掛系統，以配合機械手臂之動作。如圖 31。



圖 31 陶瓷殼模懸吊系統

#### （七）陶瓷殼模乾燥處理

沾漿及黏砂作業除應在恒溫恒濕的區域進行外，應注意每一循環作業是否能確實獲得乾燥，必要時於懸吊系統的前三分之一路程上設置風扇及乾燥隧道，利用風扇協助漿液之乾燥，或於隧道中通入少許氨氣（ammonia），以促進殼模之乾燥，但應注意排氣問題。如圖 32 所示。



圖 32 陶瓷殼模將進入隧道強制乾燥處理

#### (八) 完成陶瓷殼模之製作

經過反覆至少五～六次的沾漿黏砂及陰乾作業後，每一蠟模上已包覆一層厚度約為七、八公厘（mm）的模殼，這可由圖 33 之蠟樹外觀察知，模型間隙已變小甚或堵塞，爲了避免殼模外所黏附的砂粒脫落，最後一次只沾漿而不黏砂，如此，即完成陶瓷殼模的沾漿黏砂作業。



圖 33 即將完成的陶瓷殼模

#### (九) 陶瓷殼模存放

沾漿完成後，依次取下殼模，此時，應確實穩固地儲存在架子上，以備脫蠟作業。如圖 34 所示。



圖 34 陶瓷殼模儲放架

## 五、陶瓷殼模之脫蠟與燒結

### (一) 蒸氣脫蠟

澆口朝下將殼模擺放在蒸氣爐中，如圖 35，利用約 150°C、80psi 之高壓蒸氣進行脫蠟作業。

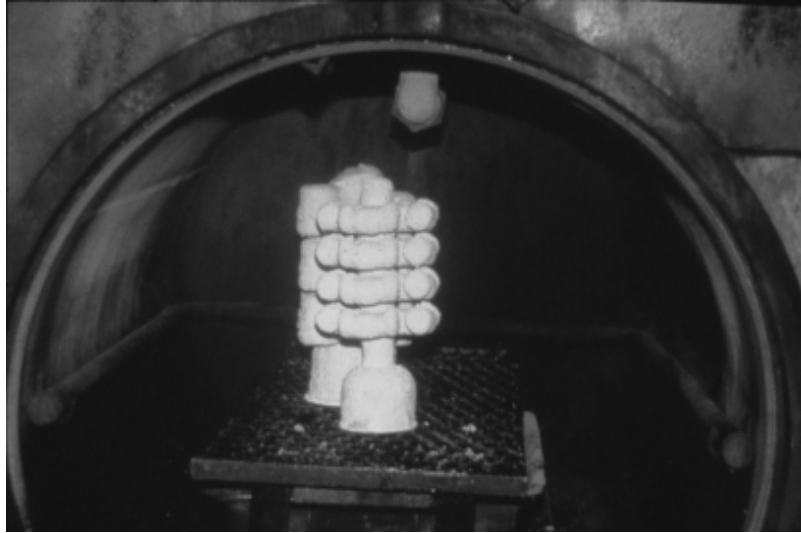


圖 35 陶瓷殼模蒸氣脫蠟爐

### (二) 殼模燒結

脫蠟後，難免尚有部分蠟殘留在殼模（包模）內，為使包模內的殘留蠟全部熔脫，且為了增加包模強度，殼模應經過約 900°C 的燒結（sinter）過程。

圖 36 係圓環形連續燒結爐，爐內溫度逐漸升高後再逐次降低，每批燒結量為爐體圓環的八分之一，一進一出，生產效率高，效果良好。



圖 36 陶瓷殼模高溫連續燒結爐

## 六、熔化與澆鑄

### (一) 熔化操作

陶瓷殼模法一般應用於各種合金鋼鑄件，因此，應採用高週波感應電爐（high frequency induction furnace）進行熔化工作。如圖 37 所示。

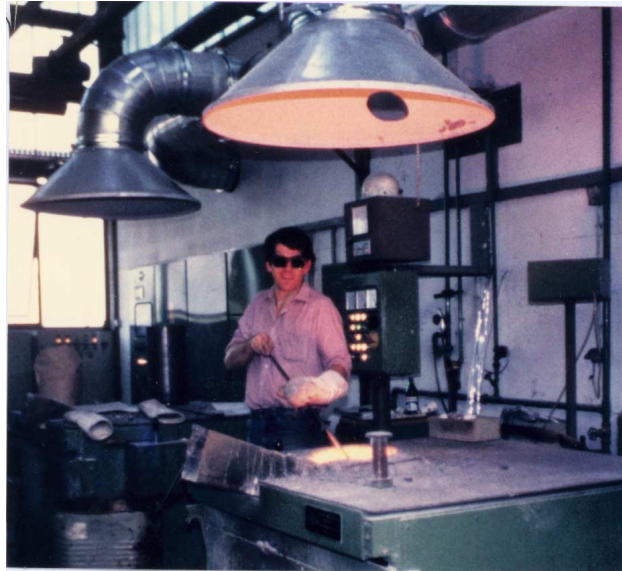


圖 37 高週波感應電爐熔解合金鋼作業

熔化時應注意配料的確實計算及填加順序，熔化完成後的除渣、測溫等爐前處理亦非常重要，必要時，每一爐次應取樣檢驗，以便作為品質保證及追蹤檢討之用。

### (二) 陶瓷殼模預熱

由於合金鋼熔點高，且此法所鑄造的均係細小複雜的精密零件，為避免溫差太大，造成殼模熱裂或滯流而發生鑄缺現象，澆鑄前，殼模應預熱至所需的溫度，以增加鑄件成功率。如圖 38 所示。



圖 38 陶瓷殼模預熱作業



### （三）取出高溫陶瓷殼模

如圖 39，澆鑄前用特製叉子取出高溫殼模，殼模大且重時，叉子把柄中間懸吊在天花板上，應用第一槓桿原理取出。

此時，殼模澆口仍然朝下，取出後由全身穿戴耐熱服飾之作業員翻轉使澆口朝上，迅速安置在澆鑄區砂床上，準備澆鑄。

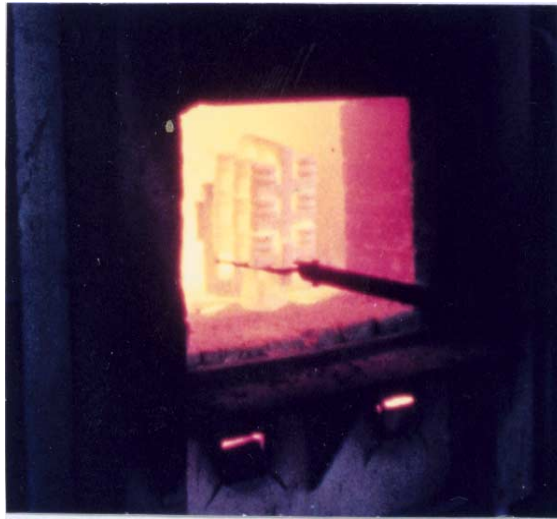


圖 39 用特製叉子取出高溫陶瓷殼模

### （四）澆鑄作業

當高溫殼模安置在砂床後，應立即展開澆鑄作業，如圖 40 所示，以免模溫降低影響澆鑄結果。澆鑄時澆鑄速度應妥善控制，以免太快時殼模漲裂，太慢時造成鑄缺。



圖 40 高溫陶瓷殼模之澆鑄作業

## 七、精密鑄件之後處理

### (一) 鑄件清理（去殼作業）

利用震盪器或高壓噴水機打碎殼模，以便清理鑄件。如圖 41 所示。



圖 41 陶瓷殼模之去殼清理鑄件作業

### (二) 酸洗或鹼煮作業

鑄件內孔之陶心等殼模材料不易清除時，可用鹽酸、硝酸或苛性鈉等材料進行酸洗或鹼煮的清砂工作。如圖 42。



圖 42 陶瓷殼模鑄件之酸洗清砂作業

### (三) 切除澆口流路

如圖 43 所示，應用快速切割機切除澆口及流路，以便分離鑄件。切割作業時，鑄件應用特殊夾具定位，且應配帶安全眼鏡，以免意外受傷。

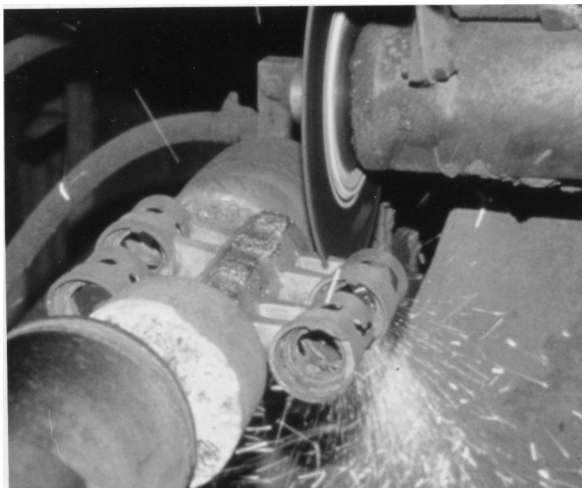


圖 43 脫蠟精密鑄件之切除澆口作業

### (四) 修磨鑄件

切除澆口流路時，為避免傷及鑄件，通常留有 3~5mm 之裕度，此時，可利用砂輪等加以修磨，以達所需之外觀及精密度。如圖 44 所示。



圖 44 精密鑄件之修磨作業

### （五）鑄件矯正

由於此法所用模型材料為蠟，而蠟之軟化點低，因此，作業過程較易變形，故修磨噴光後之鑄件，都應經過矯正真圓度或平面等矯直作業，當然必須用特製的模具，以簡化工作並可獲得精確的結果。如圖 45。

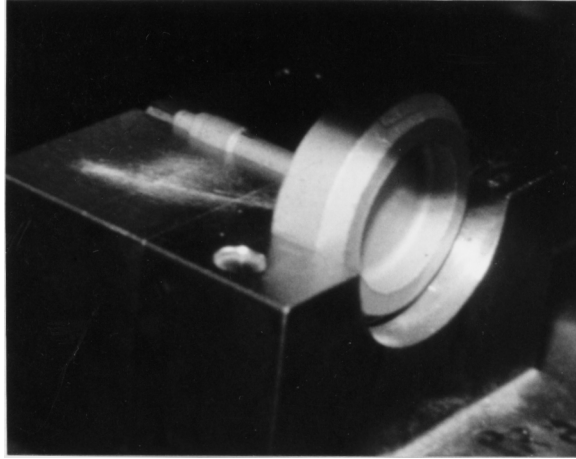


圖 45 精密鑄件之矯正作業

### （六）精密鑄造完成

圖 46 展示部分經噴光處理後之整顆合金鋼鑄件及銅合金精密鑄件，由畫面上所示之效果，確實比一般普通鑄件要光滑且精密。



圖 46 去殼噴光後之整顆精密鑄件

## 八、蠟心與陶心的應用

### (一) 水溶性蠟心製作

當精密鑄件內孔形狀複雜，無法用模具擠射蠟模時，可預先用水溶性蠟擠射蠟心，如圖 47，然後安置在模具內，擠射蠟模時，蠟心被包入蠟模中，最後將蠟模與蠟心一起泡入水中，則蠟心慢慢溶脫，形成所需的中空蠟模。

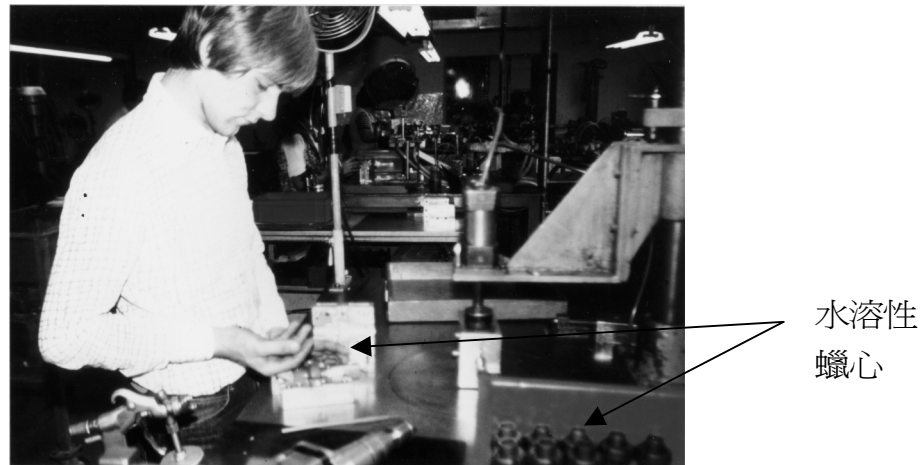


圖 47 水溶性蠟心之射蠟作業

### (二) 蠟心、蠟模與陶心

圖 48 可清楚地看到蠟心、蠟模含蠟心及蠟心溶脫之蠟模，其中之蠟模內孔凹入，模具內若採用心型軸，則射蠟後無法抽出，故此時必須採用水溶性蠟心加以克服。

圖 48 之下圖為一內外表面均具有齒牙之軸桿，外齒需用水溶性蠟心成形；而內齒牙長而細，蠟心不易溶脫，且沾漿黏砂作業亦無法確實，因此，需應用預製的陶心 (ceramic core)，射蠟之同時包入蠟模，以便沾漿時與漿液等殼模材料結合在一起。



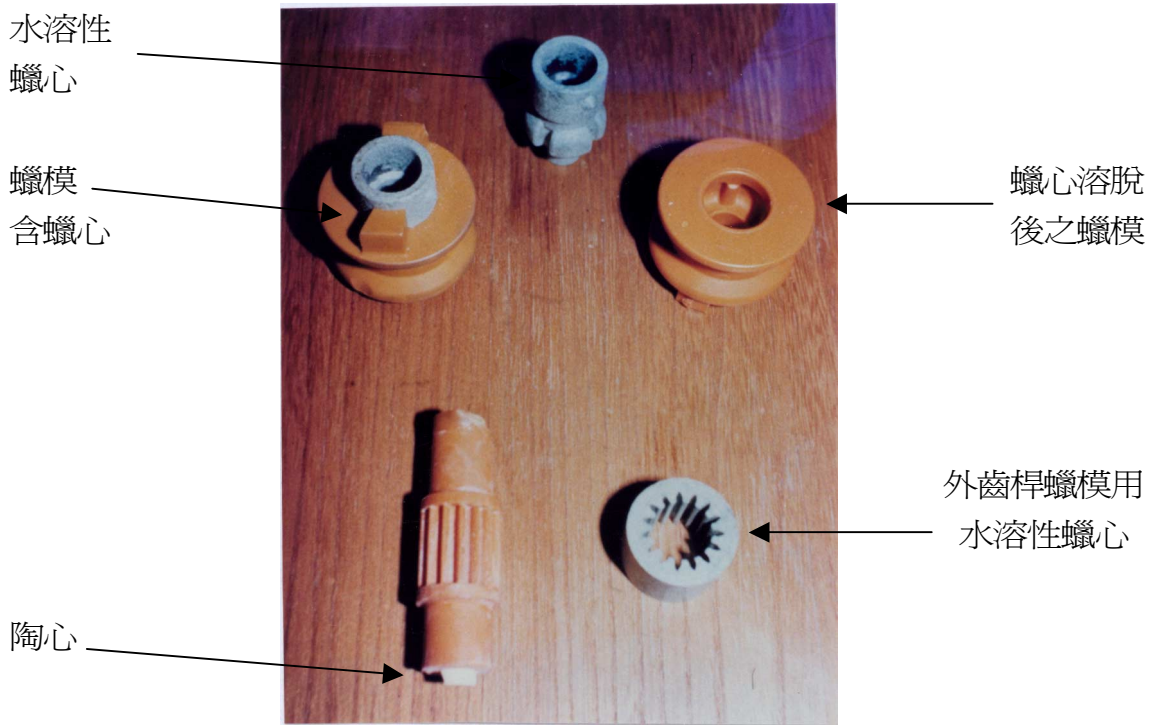


圖 48 蠟模、水溶性蠟心及陶心之應用實例

### (三) 蠟心溶脫

將包有蠟心之蠟模泡於水中，則蠟心將逐漸溶解脫落，形成內孔或特殊之外形，如圖 49 水槽上之蠟模。

為使蠟心溶脫容易，應採用流動之水，水中加入少許鹽酸，將可促進溶解速率，使蠟心溶脫更為快速。

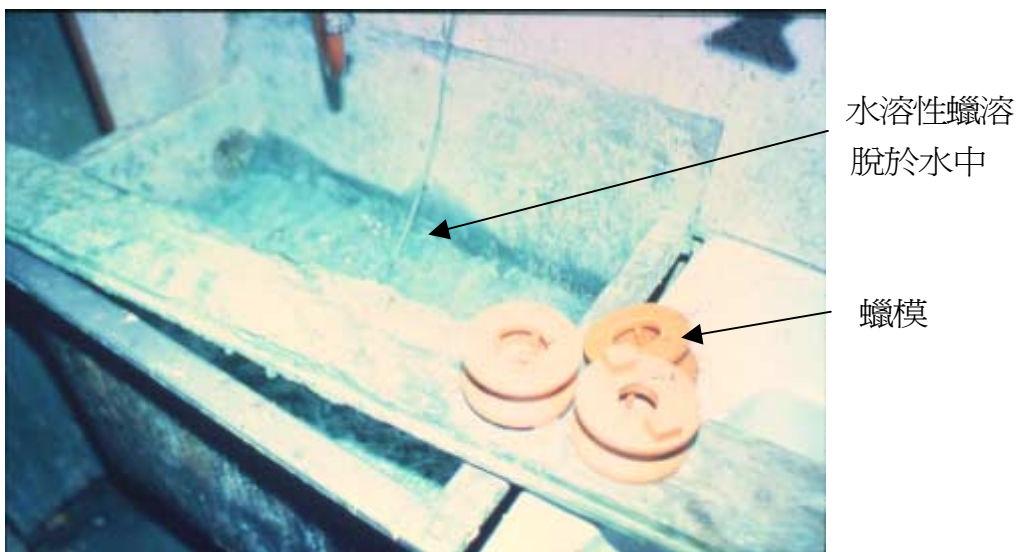


圖 49 水溶性蠟心浸泡水中溶脫情形及具內凹孔之蠟模

#### (四) 蠟心、葉輪與模具

圖 50 為水力渦輪機（water turbine）之葉輪蠟模生產實例。由於葉輪葉片之曲面形狀特殊，模具無法一體成形，因此，應用水溶性蠟心，定位安置在模具內，擠射蠟模後將蠟心溶出，即完成葉輪之蠟模製作。

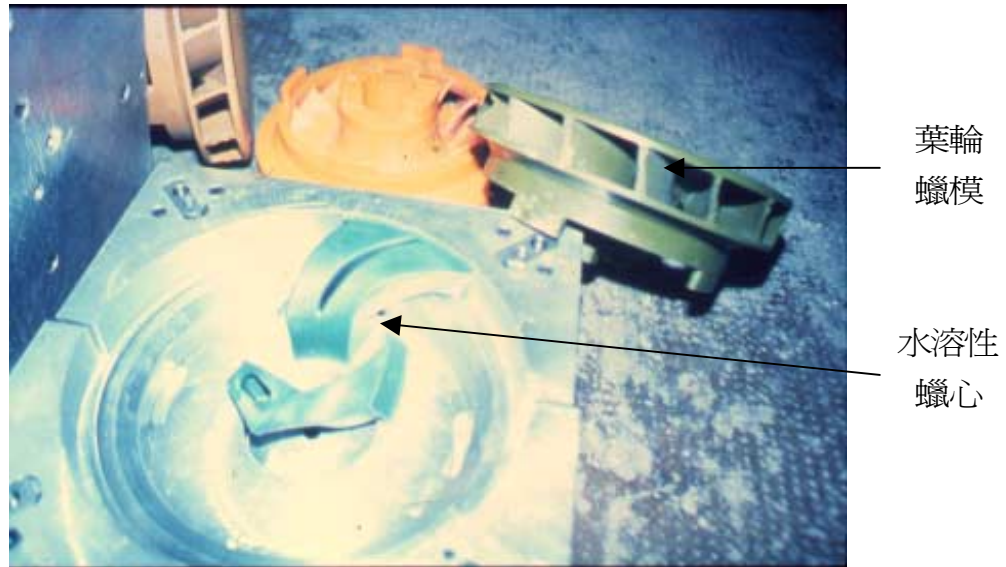


圖 50 水渦輪機之葉輪蠟模及水溶性蠟心

由此可知蠟心在脫蠟鑄造應用上之貢獻，沒有蠟心幾乎無法製作複雜之精密鑄件，圖 51 顯示葉輪之蠟模、蠟心及其外形模具。



圖 51 葉輪蠟模、形成葉片之水溶性蠟心及上下模具

## 學習評量二

請不要參閱任何資料或書籍，在下列各題填寫出正確的答案。

## (一)是非題：(30%)

- ( ) 1.陶瓷殼模脫蠟鑄造法是一種最常用且產量最多的精密鑄造法。
- ( ) 2.陶瓷殼模鑄造法最常用於生產鋁合金或鎂合金精密鑄件。
- ( ) 3.擠射蠟模前，蠟液溫度應控制在 80~100°C。
- ( ) 4.蠟樹組立工作時，應先焊合主澆道，即豎澆道 (down sprue)。
- ( ) 5.用清潔劑洗過之蠟樹，應再用酒精或清水沖洗，以免蠟模受侵蝕。
- ( ) 6.陶瓷殼模的沾漿黏砂作業可採機械手臂自動化生產，以提高效率。
- ( ) 7.沾漿用首層泥漿的濃度應較第二層以後為濃。
- ( ) 8.射製蠟模時，可待蠟模冷卻後用手將蠟模從模具內挖出來。
- ( ) 9.沾漿黏砂完成後，應儘快反覆數次繼續沾漿黏砂工作，以節省時間。
- ( ) 10.陶瓷殼模澆鑄時應放在乾燥之砂床上，以策安全。

## (二)選擇題：(40%)

- ( ) 1.陶瓷殼模之沾漿黏砂至少反覆 (1)2~3 (2)3~4 (3)5~6 (4)8~10 次。
- ( ) 2.黏砂作業時，第二層以後的砂粒粗細以幾目 (mesh) 為佳 (1)20~65 (2)70~100 (3)小於 20 (4)大於 100。
- ( ) 3.蒸氣脫蠟時，蒸氣溫度與壓力約為 (1)100°C，80psi (2)150°C，80psi (3)80°C，150psi (4)150°C，300psi。
- ( ) 4.澆鑄時，陶瓷殼模應預熱至 (1)常溫 (2)100-150 (3)500-600 (4)1100-1250 °C。
- ( ) 5.精密鑄件之內孔或外形複雜，無法用模具擠射蠟模時，可選用下列何者協助完成 (1)水溶性蠟心 (2)金屬心 (3)砂心 (4)以上皆可。
- ( ) 6.陶瓷殼模之脫蠟、燒結及預熱時，澆口杯方向應 (1)朝上 (2)朝下 (3)封閉 (4)以上皆可。
- ( ) 7.陶瓷殼模鑄造法所採用之熔解爐大都為 (1)電熱坩堝爐 (2)低週波感應電爐 (3)高週波感應電爐 (4)以上皆可。
- ( ) 8.陶瓷殼模黏砂作業時，第二層以後的耐火砂通常採用 (1)鋇砂 (2)石英砂 (3)鉻砂 (4)馬來砂。

## (三)簡答題：(30%)

- 1.擠射蠟模時，應控制那三項主要因素？
- 2.陶瓷殼模鑄造法從蠟模至澆鑄完成之製程中，主要的作業流程為何？

---

請翻至第 44 頁核對答案。

筆記欄

### 學習評量二答案

你的答案應包含下列各要點：

#### (一) 是非題

1. (○)
2. (×) 最常用於生產各種合金鋼、鈦合金之精密鑄件。
3. (×) 控制在 50~60°C。
4. (×) 應先焊合橫澆道。
5. (○)
6. (○)
7. (○)
8. (×) 應用壓力空氣將蠟模吹動取出。
9. (×) 應待陰乾(約一小時)後，才可再次沾漿黏砂作業。
10. (○)

#### (二) 選擇題

1. (3)
2. (1)
3. (2)
4. (4)
5. (1)
6. (2)
7. (3)
8. (4)

#### (三) 簡答題

1. 射蠟溫度、射蠟壓力及射蠟時間(含待模)。
2. (1)擠射蠟模(2)焊合蠟樹(3)沾漿作業(4)黏砂作業(5)乾燥作業〔(3)至(5)反覆數次〕(6)脫蠟作業(7)殼模燒結(8)殼模預熱(9)熔化作業(10)澆鑄作業。

---

假如你的答案與上述之重點相同，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述之重點相同，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻到第 19 頁重新閱讀，以便發現你的錯誤之處，並將第 42 頁上的錯誤改正，然後翻到第 45 頁。



## 學後評量

一、測驗題：請不要參閱資料或書籍，寫出下列各題的正確答案。

(一)是非題（36%）

- 1.脫蠟鑄造法是一種包模法。
- 2.耐高溫石膏可作為陶瓷殼模脫蠟鑄造法之鑄模材料。
- 3.超合金精密鑄件應採用陶瓷殼模法生產。
- 4.小件大量生產模式只適用於陶瓷殼模脫蠟鑄造法。
- 5.陶瓷殼模澆鑄時應放在乾燥之砂床上，以策安全。
- 6.陶瓷殼模的沾漿黏砂作業可採機械手臂自動化生產，以提高效率。
- 7.沾漿用首層泥漿的濃度應較第二層以後為濃。
- 8.陶瓷殼模脫蠟鑄造法是一種最常用且產量最多的精密鑄造法。
- 9.擠射蠟模前，蠟液溫度應控制在 100~150°C。

(二)選擇題（48%）

- 1.包模鑄造法的模型材料為 (1)蠟 (2)保利龍 (3)塑膠 (4)以上皆可。
- 2.下列那一項工作不屬於陶瓷殼模法作業流程？ (1)套型框於蠟樹外圍 (2)射製蠟模 (3)脫蠟與燒結 (4)矯正與檢測。
- 3.脫蠟鑄造法可生產下列那些零組件？ (1)國防武器 (2)醫療器材 (3)航空器材 (4)以上皆是。
- 4.製作陶瓷殼模之沾漿黏砂作業至少反覆 (1)2~3 次 (2)3~4 次 (3)5~6 次 (4)8~10 次。
- 5.黏砂作業時，第二層以後的砂粒粗細以幾目 (mesh) 為佳 (1)20~65 (2)70~100 (3)小於 20 (4)大於 100。
- 6.蒸氣脫蠟時，蒸氣之溫度與壓力約為 (1)100°C，80psi (2)150°C，80psi (3)80°C，150psi (4)150°C，300psi。
- 7.陶瓷殼模澆鑄時，殼模的溫度約為 (1)常溫 (2)100-150 (3)500-600 (4)1100-1250 °C。
- 8.脫蠟與燒結過程中，澆口的開口方向宜朝向 (1)上方 (2)右方 (3)下方 (4)左方。

二、問答題：

(一)陶瓷殼模脫蠟鑄造法的主要作業流程為何？（10%）

(二)擠射蠟模時，應控制那三項主要因素？（6%）

[請翻至下一頁。](#)

## 參考文獻

- 一、張晉昌，1999年，鑄造學，台北：全華科技圖書公司，360頁～376頁。
- 二、林宗獻，1997年，精密鑄造，台北：全華科技圖書公司，7頁～150頁。
- 三、張晉昌，1987年，精密鑄造技術教學普遍化之研究，台北：工業職業教育編輯指導委員會，10頁～60頁。
- 四、張煥修、周介誠，1986年，等軸晶渦輪葉片之晶粒細化與控制研究，鑄工，第51期，1頁～19頁。
- 五、張晉昌，1978年，仿古銅器藝術品之製作——簡介脫蠟鑄造法，中學工藝教育月刊，11卷1期，28頁～33頁。