

TUNG NAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
私立東南技術學院

機械工程科

專題報告書

『精密包模鑄造之缺陷分析』

學生：古振男、凌志維
趙慈昇、巫有穎
指導老師：張竹

中華民國九十年十一月

摘要

所謂「精密鑄造法」是指鑄模不用金屬模，製品尺寸精度高於普通鑄造法（砂模鑄造法）的鑄造法。這麼好用的製造方法，其實在製作過程中，只要一個小地方出錯，就會出現缺陷品。

所以在本分析中，以「缺陷」做為分析的對象，並對於氣孔、渣孔、縮孔、熱裂、飛邊、剝砂等鑄疵做探討。本分析的範圍，在射蠟、組樹、沾漿、脫蠟、烘模、熔化和澆鑄流程之中。

最後，在以無缺陷品與缺陷品作比較，更能了解其原因。

序

由於本組在高職都同為鑄造科，對精密鑄造有的深厚興趣，並想深入學習了解，所以把專題題目訂為「精密包模鑄造之缺陷分析」，好讓在製作專題過程中，針對包模鑄造法，更了解一些以前所不知的專業知識。

在製作的過程中，十分感謝張竹老師和以前高職老師，給予本製作的一些指導及建議，使本專題製作完成，特此並致上謝忱。

目錄

摘要

序

目錄

第一章	包模鑄造之概論	1
	1.1 包模鑄造的前言	1
	1.2 包模鑄造的定義	2
	1.3 包模鑄造的流程	2
第二章	包模鑄造之鑄件缺陷	5
	2.1 缺陷的介紹	5
	2.2 缺陷判斷的方式	13
	2.3 缺陷形成的原因	16
	2.4 缺陷改善的對策	21
第三章	包模鑄造之缺陷分析結果	26

3.1 無缺陷品的作業過程規範	26
3.2 無缺陷品與缺陷品之比較	28
第四章 包模鑄造之實作過程	32
4.1 準備蠟液	32
4.2 擠射蠟模	34
4.3 組立蠟樹	37
4.4 陶瓷殼模製作	39
4.5 陶瓷殼模的脫蠟與燒結	43
4.6 熔化與澆鑄	45
4.7 精密鑄件的後處理	47
參考文獻	48

第一章 包模鑄造之概論

1.1 包模鑄造的前言

精密鑄造法 (precision casting methods) 是指鑄模不用金屬模，製品尺寸精度高於普通鑄造法 (砂模鑄造法) 的鑄造法。包括包模鑄造法 (investment. Casting process)、陶模法 (ceramic-mold process)、石膏模法 (ter-mold process)。

我們就精密鑄造中的包模鑄造法由來說起，遠在我國殷朝時代，就已經利用此技術製造青銅器具；在公元前數百年前，古埃及便已盛行著古典的包模法，鑄造形狀複雜的青銅工藝品。但是這種鑄造技術，並未受到大家重視，而加以研究改進，僅僅停留在藝術品的鑄造階段。

迄至西元 1897 年，美國愛荷華州的菲利浦醫生，將此技術用於牙醫的鑲牙工作，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，並未引起鑄造界的注意，直到第二次世界大戰，美國軍方為了節省大量的人力，物力及財力，所以發展包模鑄

造技術，製造一些形狀複雜，材料特殊，加工困難的軍用零件，最後才開始受到重視。

1.2 包模鑄造的定義

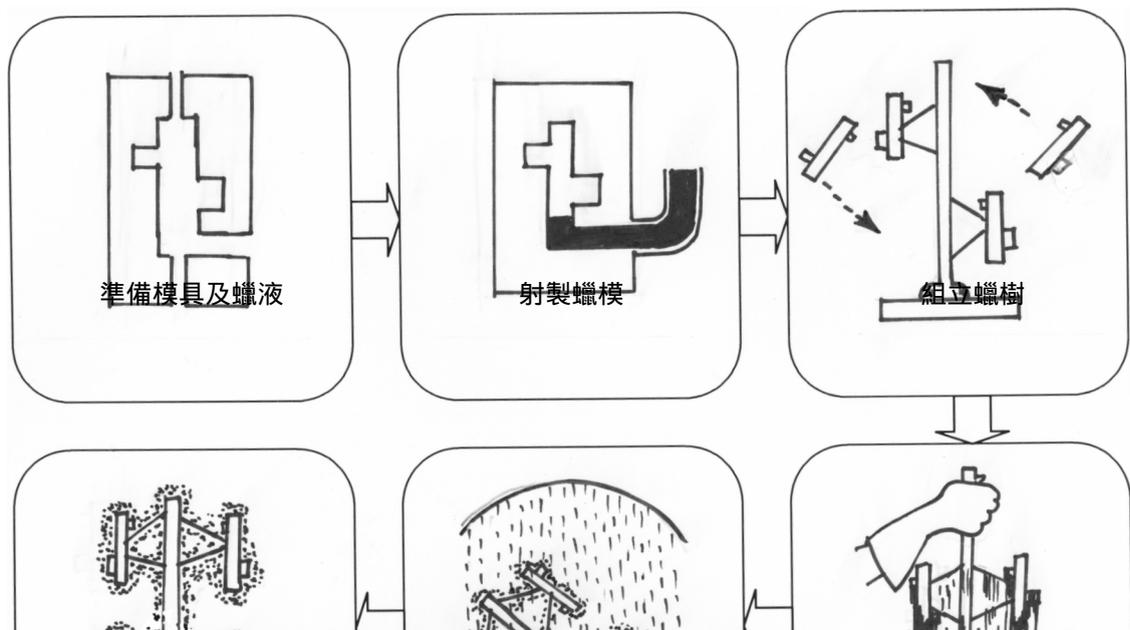
包模鑄造法係以可消失性材料（disposable materials）製作模型，然後於模型四周包覆一層厚度適當的耐火材料當作鑄模（mold），鑄模材料充填完成後，不必分開鑄模取出模型，而係將鑄模與模型同時加熱升溫，則模型材料熔融流出或消失而形成模穴，完成鑄模製作，故此法通稱為包模鑄造法。此法的模型材料有蠟、水銀、保利龍及熱塑性塑膠等，但蠟取得容易、價格合理、製程方便且易控制，鑄件精密度及品質亦可達相當水準，故此法為國內外最常用、產量亦最多的一種精密鑄造法，一般所謂的精密鑄造法亦大都係指脫蠟鑄造法而言。

1.3 包模鑄造的流程

包模鑄造法中，其流程主要分成兩種：一為陶瓷殼模法（ceramic shell mold）；另一種為實體鑄模法（solidmold 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；本組是就陶瓷殼模法來討論。

如圖（1.1），陶瓷殼模法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。



3.陰乾及反覆 1 至 3 數次

2.淋砂或浮砂

1.沾漿

脫蠟及燒結

溶化及澆鑄

去殼及切割

成品包裝出貨

量測及檢驗

修磨鑄件

圖 (1.1) 陶瓷殼模脫蠟鑄造法的生產流程

第二章 包模鑄造之鑄件缺陷及對策

2.1 缺陷的介紹

為了製作精密鑄件，必須多方面的應用到方案設計、造模、澆注等製程設計，而鑄件常有之內部或外表面缺陷皆五花八門，常各式各樣有所不同，在此針對氣孔、渣孔、縮孔、熱裂、飛邊、剝砂等鑄疵做探討。

1. 氣孔

在凝固過程中，金屬液中的氣體，未能及時逸散出去，其氣體壓力大於局部金屬液壓力，於最小阻力處形成圓形或扁長形之孔洞，造成鑄件表面或內部含有孔洞的缺陷，稱為氣孔。

一般而言，氣孔的發生是在澆注作業的過程中，高溫金屬液進入模穴時，若高溫金屬液含有過量的氣體及陶殼模之耐火材無法承受高溫進而氧化所產生的氣體及模內現有的氣體未能及時逸散出去，殘留在鑄件中造成孔洞，稱為氣孔，如圖（2.1）。通常氣孔的形狀較近似圓形或扁長形，一般常出現在鑄件的表面或下表面的地方，造成鑄疵的困擾。

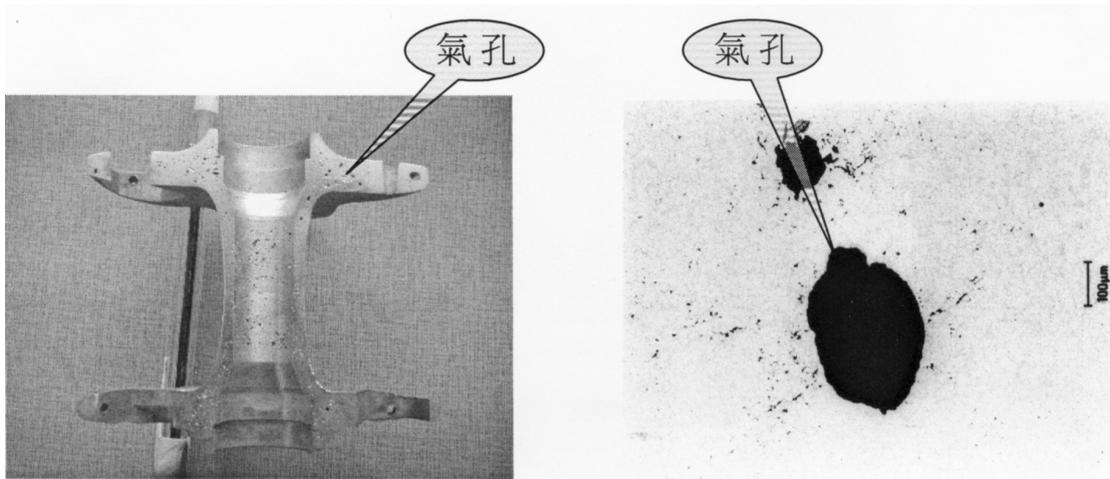


圖 (2.1) (a)表面及內部氣孔 (b)氣孔的顯微組織形態

2.渣孔

在鑄件澆注過程中，金屬液若含有雜質、不純物等外來物質，經由澆注的過程中，流入模穴中而形成孔洞缺陷，稱為渣孔。

通常渣孔的形成是金屬液不潔淨所造成，因此出現渣孔的位置通常是在鑄件的上半部附近，而渣孔的形狀較不規則，如圖 (2.2) 所示為典型的渣孔。



(a)

(b)



(c)

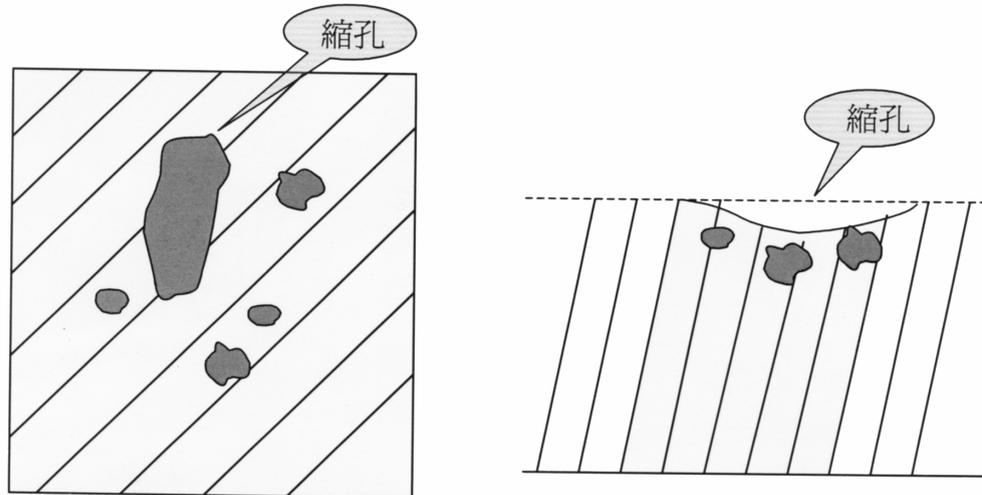
圖 (2.2) (a) 渣孔缺陷 (b) 渣孔的顯微組織 (c) 實作結果

3. 縮孔

鑄件在凝固時內部因金屬液本身熱脹冷縮的特性，在冷卻凝固的過程中，無足夠的高溫金屬液補充其凝固收縮，而產生體積收縮的現象，造成鑄件內部或表面產生凹陷或不規則的孔洞，稱為縮孔。

一般而言，最常出現縮孔的地方是在斷面積最大的地方、進模口、冒口下方或是金屬液最慢冷卻的地方，這些地方因為處於體積收縮的最大位置上，較容

易出現縮孔。如圖（2.3）所示。縮孔較常出現在鑄件較厚的位置或斷面補充不到的地方。

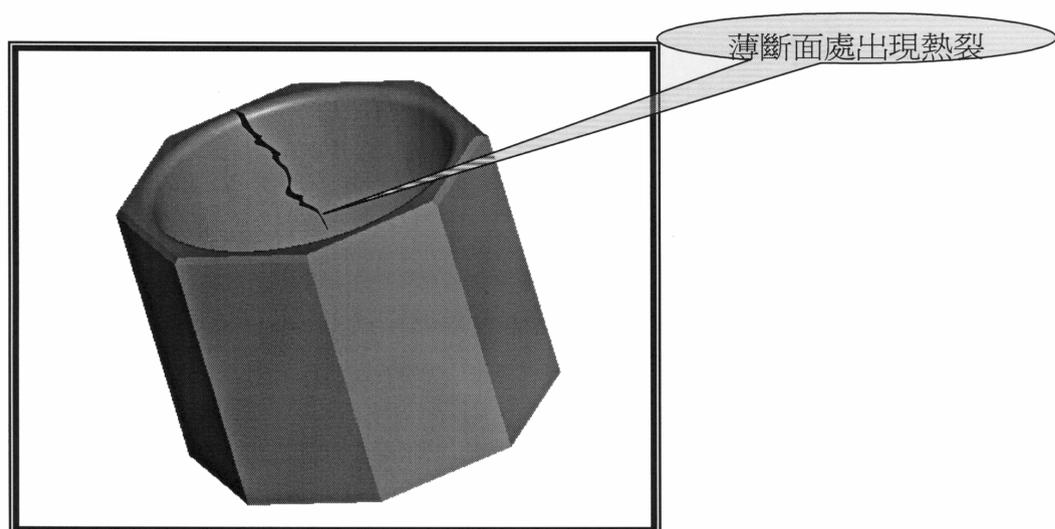


(c)

圖（2.3）(a)在較厚斷面的地方易產生縮孔(b)表面出現補縮的情形也容易出現縮孔(c)實作結果

4.熱裂

熱裂發生的主要因素是鑄件在冷卻凝固時，金屬液在收縮時受到拘束，而由於應力的不平衡，使得鑄件表面產生裂縫，造成缺陷。通常會出現在鑄件的表面或斷面變化過大的地方。如圖（2.4）所示為熱裂的示意圖。



(a)



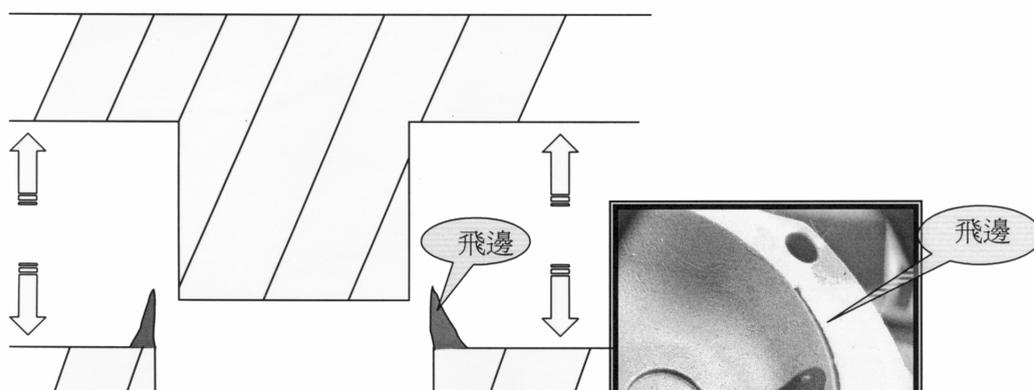
(b)

圖 (2.4) (a)鑄件熱裂發生在細環形斷面上 (b)實作結果

果

5.飛邊

所謂的飛邊是鑄件的外觀上出現不規則的凸出面，飛邊的出現將使鑄件無法如預期的得到一平滑的精密鑄件表面，因此皆需要額外的後處理除去，造成不便，甚至使得鑄件無法通過品管檢驗。如圖 (2.5) 所示為飛邊的示意圖形。



(a)

(b)

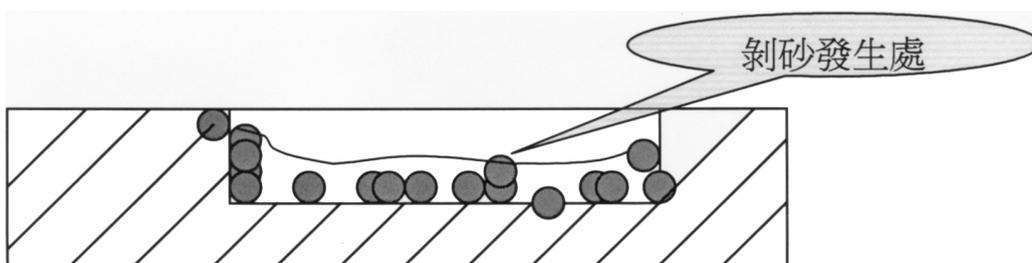


(c)

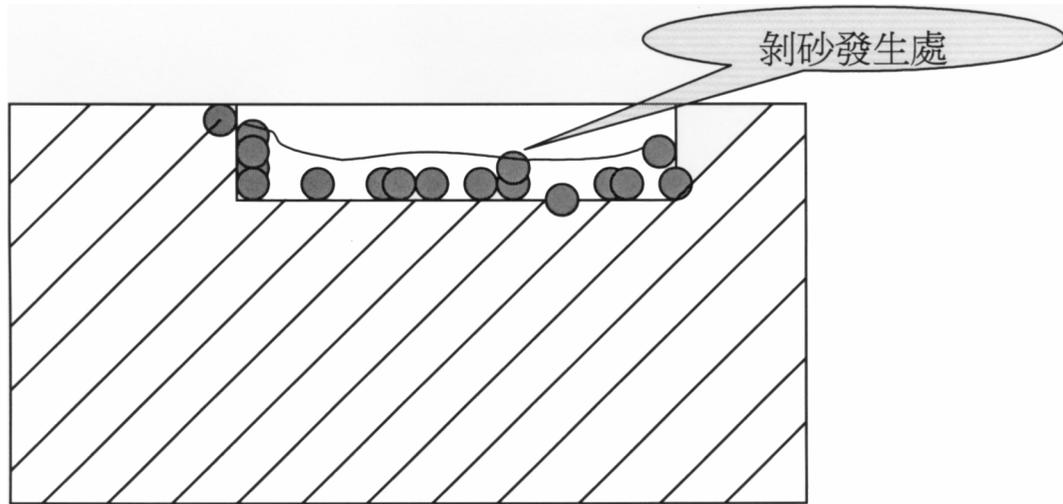
圖 (2.5) (a)在脫模處出現飛邊 (b)在角落出現飛邊 (c)
實作結果

6. 剝砂

陶殼模的表面的某一個地方，由於這個地方的模砂剝落，而使得澆注時的金屬液流入這些地方或間隙上，而造成此處鑄件的表面呈現不規則的島狀形突出物稱為剝砂。如圖 (2.6) 所示為鑄件剝砂的圖形，而發生剝砂的位置幾乎很難處理，甚至無法修整，使得



整個鑄件無法通過品管要求，影響甚巨。



(b)

圖 (2.6) (a)鑄件剝砂示意圖 (b)實作結果

2.2 氣孔、渣孔、縮孔、熱裂、飛邊、剝砂判斷的方式：

1.氣孔與渣孔的特徵：

氣孔缺陷主要是由氣體造成，這些氣體在冷卻凝固的過程中無法自金屬液中

逸散出去而殘存在鑄件中，所以氣孔的發生一定與氣體有關或與會生成氣體元素的物質有關。而渣孔主要發生的原因在於雜質、不純物、夾渣等物質所造成，因此通常氣孔生成的範圍較為均勻，例如鑄件表面均勻的分佈著氣孔缺陷，而渣孔常常是局限於某一個地方，如鑄件的上部等。若氣孔或渣孔發生於鑄件的內部時，可以利用顯微分析方式，使用電子式光學顯微鏡，以線掃描的方式，測出其含有的化學成份元素，即可判斷出氣孔或渣孔所造成缺陷的差別了。

2.縮孔的特徵：

縮孔產生的主要因素在於金屬液熱脹冷縮的物理特性，通常會發生在進模口或冒口的地方，外觀呈現出不規則的形狀，如樹枝狀或海綿狀。如果發生在次表面會產生縮凹的現象，通常縮孔會出現在厚斷面或最慢冷卻的地方。有時鑄件外形設計不良或圓角不足的地方，也經常會出現縮孔。如圖（2.7）所示為直角處，因設計考慮不足而產生縮孔的情形。

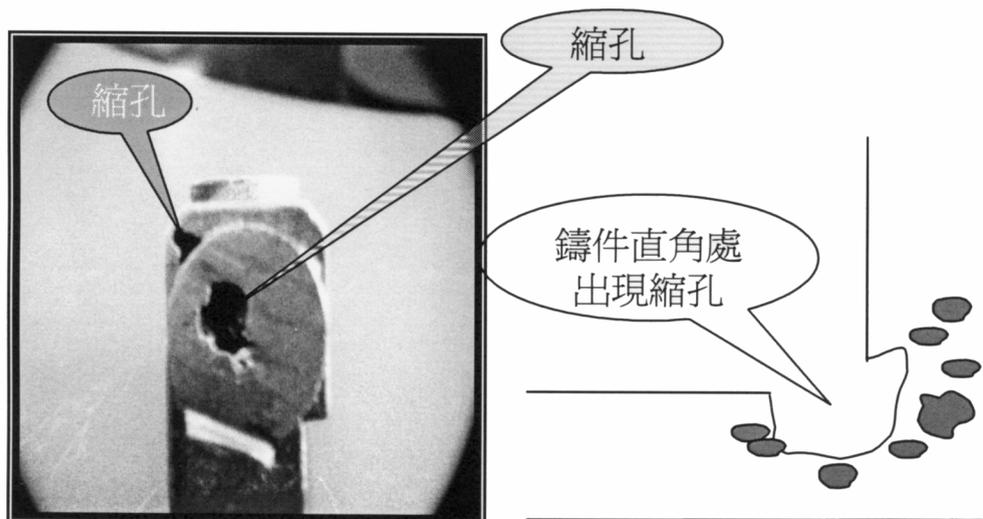
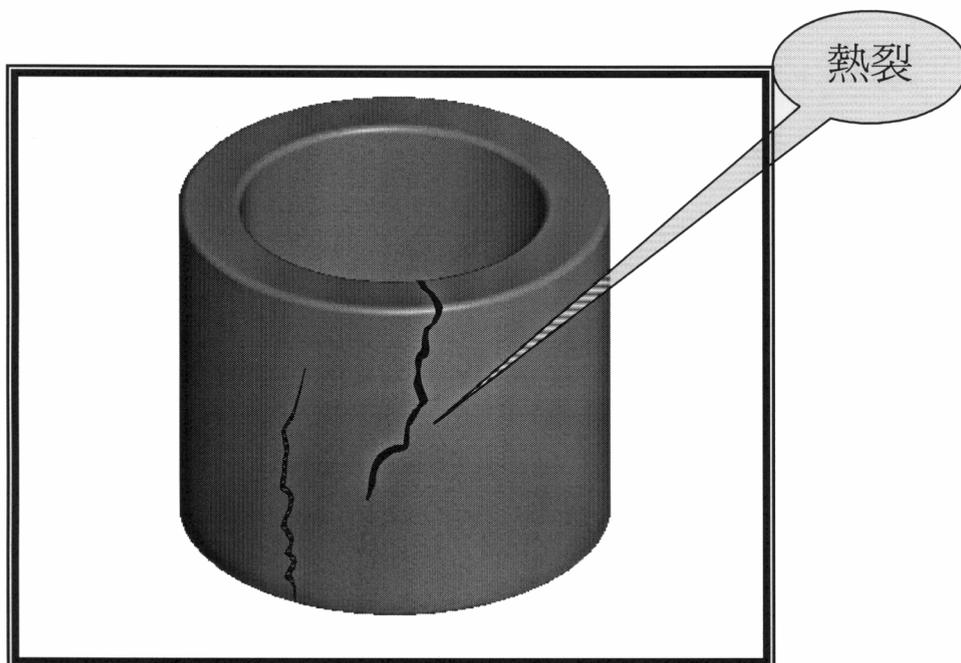


圖 (2.7) (a)鑄件因設計不良而產生縮孔 (b)鑄件直角處出現縮孔

3.熱裂的特徵：

鑄件產生熱裂的情形，在判斷上可由鑄件外觀直接觀察出，若鑄件表面上、直角處、交界面或一些非正常的裂縫出現，而這些裂縫的發生是由於凝固收縮所引起，則我們即可判斷此為熱裂的缺陷。在精密鑄造上也常常出現，由於陶心的強度過高、崩散性不佳，進而影響到鑄件的正常收縮，亦會發生熱裂的情形。如圖 (2.8) 所示。



圖（ 2.8）鑄件熱裂的示意圖

4.飛邊的特徵：

當鑄件表面出現不是如你所預期的，有凹凸不規則面出現時，而這個地方通常垂直於鑄件的另一個平面，或者出現在鑄件的交接面或是轉角的地方，這些地方幾乎和砂心、陶殼模有關，那麼出現的這個與分模面凸邊極為相似的凸出物，我們可以判斷這個缺陷是飛邊所造成，如圖（ 2.9）所示。

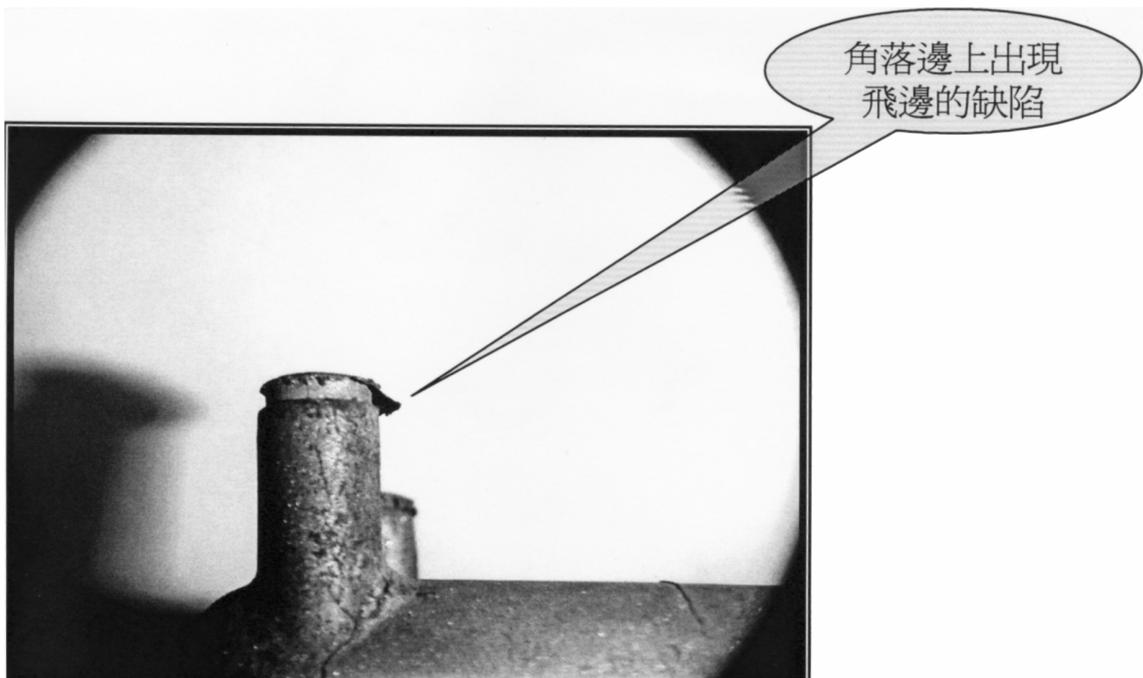


圖 (2.9) 鑄件角落產生飛邊

5.剝砂的特徵：

從鑄件外觀上的判斷，我們會發現，在鑄件的表面呈現不規則的島狀突出物，大都是位於上模模面與下模模面上，進一步的觀察會發現，是以鑄模面破裂且剝落而讓金屬液覆蓋之後所造成。另一方面亦或金屬液滲入陶殼模破裂的間隙中，造成剝砂痕出現在鑄件的外觀上。

2.3 缺陷形成的原因

1.氣孔形成的原因：

氣孔發生的原因，主要是金屬液在冷卻凝固的過程中，有氣體被包在金屬液當中無法排出，最後形成氣孔缺陷，而氣體的主要來源如下所述。

- a.由於熔解時添加料本身含有氣體。
- b.由於熔解的方式不當，將氣體溶入金屬液中，造成金屬液含有過量的氣體。

- c.造模時，陶殼模或砂心含有水氣或是黏結劑使用過量，砂心沾漿太厚含有水份未完全乾燥及燒結不完全，造成鑄件產生氣孔。
- d.鑄件方案設計時，澆流道系統設計不佳，造成捲氣甚至排氣性不良，使氣體無法排出。
- e.陶殼模的透氣性不佳，使氣體無法順利排出造成氣孔缺陷。

2.渣孔形成的原因：

鑄件的缺陷中，渣孔出現的機率十分常見，若添加的原物料不潔淨、熔煉管制不當，種種情況下皆會造成渣孔的產生，而這些缺陷有時出現在鑄件內部，由外觀的檢查無法直接看出來，等到出貨至客戶的手中，才在客戶的破壞檢驗中被挑出來，影響公司信譽，因此不可不知曉其原由，而渣孔的主要來源如下所述：

- a.由於非金屬的夾雜物，伴隨著氣體出現，如氧化物等，生成渣孔。
- b.金屬添加料本身含有不純物或雜質，造成金屬液的不潔淨，而造成了渣孔缺陷。
- c.熔解爐襯材料與熔解金屬起反應，造成熔渣，使得金屬液中含有渣的不純物。
- d.澆斗或熔煉時除渣不確實，使得夾雜進入模穴中造成渣孔缺陷。

- e.鑄件方案設計時，澆流道系統設計不佳，沒有擋渣的功能，使得氧化渣、雜質進入模穴中，造成渣孔。
- f.熔煉時，金屬液與大氣產生反應，形成氧化物的不純物，也是渣孔的來源之一。

3.縮孔形成的原因：

在鑄件的方案設計過程中，克服縮孔的設計是必須的，而有時由於金屬液本身熱脹冷縮的物理特性，造成設計上的不足，而發生縮孔的缺陷，在此針對縮孔產生的原因加以說明，以利讀者的了解。

- a.鑄造的過程中，由於高溫金屬液收縮所造成的。
- b.鑄模產生氣體壓力，使氣體無法散出去，阻隔金屬液的補充造成縮孔。
- c.凝固時產生收縮，位於較厚的斷面金屬液補充不足，產生縮孔。
- d.鑄件設計時，交接處設計直角處太多，在直角處易產生縮孔。
- e.澆鑄時，澆注溫度不適當，或是澆注作業時有鑄漏，甚至投料不正確皆有可能造成縮孔。

4.熱裂形成的原因：

鑄件的生產過程中，有時你會不經意的發現，某一類的鑄件，在澆注的過程中，並沒有發生任何異狀，直到鑄件冷卻後清砂整理時，才發現鑄件產生一道道的裂縫，而且是毫無預警的情況下產生，而發生熱裂的鑄件幾乎已無法挽回，在此讓我們來探討一下，熱裂發生的原因。

- a.鑄件原型設計時，直角處沒有設計圓角或是交接處過多，甚至是斷面尺寸變化太過激烈，都有可能造成熱裂。
- b.澆冒口設計時，妨礙到鑄件正常的收縮，造成應力不平衡進而造成熱裂。
- c.陶殼模強度過強，造成高溫金屬液無法正常凝固收縮，形成熱裂。
- d.鑄件澆注完成後，未完全凝固前，太早移動鑄件或太早拆模，使鑄件冷卻太快，造成熱裂。
- e.熔煉的成份有誤如含過多的碳化物造成淬裂，或是鑄鐵件中含有過高的硫含量，皆會造成熱裂。

5.飛邊形成的原因：

精密鑄件的外形尺寸，幾乎在設計時皆以不再加工為原則，而鑄件若有飛邊的缺陷，幾乎都需要額外的後處理，甚至無法處理而不堪使用。在此討論飛邊形成的原因。

- a. 脫臘不良，合模面產生間隙，使金屬液滲入其中，造成不規則的凸面飛邊。
- b. 砂心製作時，可能尺寸太小，砂心頭無法適當的配合，造成飛邊。
- c. 陶殼模強度不夠，造成金屬液滲入，形成飛邊。
- d. 澆注溫度過高，金屬液反應過於激烈，造成模內壓力過大，金屬液穿入陶殼模，形成飛邊。

6. 剝砂形成的原因：

剝砂顧名思義，其大概會和砂子有直接或間接的關係，在鑄造的陶殼模製作過程中，如果局部陶殼模的面砂在澆注的前一刻掉落在金屬液中，而掉落面砂的位置上，此空隙就被金屬液填滿，使得鑄件表面有多餘的不規則島狀突出物。

在此說明剝砂的形成原因：

- a. 陶殼模在金屬液高溫澆注影響下，表面快速受熱膨脹，進而造成此區域局部的膨脹甚至剝離，金屬液順勢流入，形成剝砂的現象。
- b. 陶漿面砂與蠟型之附著力較差，造成燒結時面砂易於剝落。
- c. 澆注時，金屬液溫度過高，造成金屬液蒸氣反應過於激烈，產生剝砂缺陷。
- d. 沾漿過程中，面砂與被砂的附著力較差，背漿穿透面漿，侵入蠟模，造成厚度不足，亦或面漿的品質劣化、太濃，造成附著性不佳。
- e. 所使用之各種耐火材料之熱膨脹係數差異過大。

2.4 缺陷改善的對策

1. 氣孔缺陷的改善對策：

氣孔缺陷常常困擾著許多的鑄造從業人員，而往往在不經意的地方，使鑄件出現氣孔，因此如何改善此一缺陷是極為重要的。

- a. 投料來源：正確的選擇含氣量少的物料或是投料前進行噴砂除銹及預熱的準備工作，以減少氣體源的

產生。

- b.熔解方式：熔解時必須除去氧化物，進行熔解保護，避免架橋、高溫氧化，以防氣體溶入金屬液中。
- c.造模作業：陶殼模燒結的溫度及時間要確實管制，儘可能烘烤除去水份，再進行澆注。
- d.方案設計：方案設計時須考量不造成捲氣、包氣的現象，排氣須順暢。
- e.透氣性佳：陶殼模的厚度須適當，以利排氣。

2.渣孔缺陷的改善對策：

渣孔的缺陷在鑄件的鑄疵上常常可遇見，現在我們來討論如何改善此一缺陷。

- a.投料來源：添加料本身含有非金屬夾雜物或氧化物，必須避免選用。
- b.熔解方式：爐襯材料與澆斗的耐火泥正確的選用，以不與熔解金屬起化學反應為原則，並須時時清潔爐渣，以防止夾渣流入鑄件中。
- c.造模作業：澆流道系統設計時，需要考量擋渣的功能，亦可使用過濾網(片)，以阻絕夾渣進入鑄件中。
- d.方案設計：金屬液易與大氣起反應時，應考慮熔解

保護，以防氧化物夾渣的產生。

- e.透氣性佳：增加陶殼模強度及耐火強度，減少高溫金屬液與陶殼模產生反應，並確實清除陶殼模內之殘留物，以防止氧化物夾渣的產生。

3.縮孔缺陷的改善對策：

在鑄件的冒口或澆口上，你常常可發現表面有凹陷的痕跡，這是由於縮孔所造成，其形狀有如樹枝狀或海棉狀，這些縮孔部位極易從外觀上辨別出來，在此提出一些縮孔的改善方法，以利讀者參考。

- a.了解金屬液的物理性質：金屬液的補充須方向性凝固的考量，並增強金屬液補充效果，因為最慢冷卻的位置，才需要補充金屬液。
- b.鑄件設計：鑄件交接處變化不可太大，斷面模數儘量相同，冒口補充位置與數量要適當。
- c.發熱劑的使用：冒口處可使用冒口發熱劑。
- d.熔煉控制：澆注溫度須適當，金屬液溫度過高過低皆不適宜，應避免架橋。
- e.其它：增加冒口數或加大圓角，改善縮孔的發生。

4.熱裂缺陷的改善對策：

鑄件的熱裂現象並不常見，然而亦是影響鑄件品質的重大因素之一，值得鑄造工作人員的注意，下面將說明一些改善熱裂的方法。

- a.鑄件設計：鑄件相交接處之斷面厚度變化不宜太大，直角處應儘可能以圓角代替，以降低應力的發生。
- b.方案設計：避免不正常的收縮設計，如澆冒口位置的適當安排，或縮短澆注時間，使模穴內金屬液溫度分佈均勻。
- c.金屬液未凝固前不可移動陶殼模鑄件。
- d.陶殼模或砂心強度要適當，以避免影響金屬液正常收縮，造成熱裂產生。
- e.成份控制：碳化物元素過多時，易造成熱裂，須避免或降低。

5.飛邊缺陷的改善對策：

飛邊的發生在精密鑄件上，常常會出現，而且極為明顯的可從外觀上判斷出來，現在我們來探討飛邊

缺陷的改善之道。

- a.脫蠟完全：改善脫蠟作業，避免脫蠟不完全發生殘留蠟。
- b.砂心尺寸：砂心的尺寸須精密，避免尺寸不足造成飛邊。
- c.陶殼模強度：適當的陶殼模強度，以防止陶殼模龜裂。
- d.澆注溫度：正確的澆注溫度，以防止過高的金屬液穿入陶殼模。
- e.耐火材料：選擇面砂及背砂之膨脹係數相差不要太大，以防結合性不足。

6.剝砂缺陷的改善對策：

剝砂的出現是不易解決的，亦常困擾鑄造工作人員，因為它的發生在鑄造前很難提前發現，往往是在製程當中造成此一缺陷的產生，在此提供一些剝砂缺陷的改善方法。

- a.陶殼模材料：耐火材料與陶漿的附著力需要良好，並且面漿不可有殘留的突出部位，以防剝砂發生。並選用熱膨脹係數相近的耐火材料。
- b.陶殼模乾燥：降低相對濕度，延長乾燥時間、增強

送風與空氣流動，以提高陶殼模濕態強度。

- c. 陶漿的品質：保持良好的 pH 值，以防陶漿劣化，並且在沾漿的過程中，應保持均勻的厚度。
- d. 澆注溫度：適當的澆注溫度，以防止金屬液溫度過高，造成剝砂現象。

第三章 精密包模鑄造之缺陷分析結果

3.1 無缺陷品的作業過程規範：

1、射蠟作業

1、射蠟機的準備

- (1) 熔化桶之保溫溫度不得超過 90 。
- (2) 注蠟時，保溫筒的溫度，保持約 30 。
- (3) 保溫機之溫度，設定於 60 。

2、射蠟模的預備

射蠟模的溫度，保持在 30~35 。

3、射蠟

- (1) 射蠟作業之前，射嘴和蠟缸，加熱到 55~60，並且一直保溫。
- (2) 射蠟壓力在 30~70 kg/cm² 之間。

2、組樹作業

組樹完成，冷卻至少 1 小時。

3、沾漿作業

1、泥漿調配之材料與比例

- (1) 沾第一道的漿：

鋳粉 (72.5%)+矽酸膠 (21.5%)+水 (6%)。

(2)沾第二道之後的漿：

鋳粉 (68%)+矽酸膠 (25%)+水 (7%)。

2、淋砂與浮砂之材料

(1)淋第一道的砂，耐火砂採用 80 目的鋳砂。

(2)浮第二道之後的砂，耐火砂採用 20~65 目的鋳砂。

3、沾漿場所，在室溫 22~26 之間。

4、第一層沾漿與淋砂完，乾燥至少 2 小時。

5、第二層沾漿與浮砂完，乾燥至少 3 小時。

6、第三層沾漿與浮砂完，乾燥至少 6 小時。

7、第四層沾漿與浮砂完，乾燥至少 8 小時。

8、第五層沾漿與浮砂完，乾燥至少 8 小時。

9、第六層沾漿與浮砂完，乾燥至少 8 小時。

10、沾完最後一層白漿，乾燥至少 12 小時。

4、脫蠟作業

1、鑄簇放入脫蠟機後，在 7 秒鐘內，將壓力設定達到 $4.9\sim 5.6 \text{ kg/cm}^2$ ，溫度設定達到 160 。

2、脫蠟時間，至少 10 分鐘。

5、燒結作業

- 1、燒結時間至少 20 分鐘，最多 1 小時。
- 2、燒結溫度為 900 。

6、熔化作業

鋁材在 750 下熔化。

7、澆鑄作業

在一般速度下澆鑄。

3.2 無缺陷品與缺陷品之比較：

1、氣孔，如表(3.1)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(氣孔)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	鑄簇水份未完全乾燥
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	燒結不完全
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	規範中

表(3.1) 無缺陷品與缺陷品(氣孔)之比較

2、渣孔，如表(3.2)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(渣孔)
射蠟作業	規範中	澆道設計不良，無法擋渣
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	規範中
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	規範中

表(3.2) 無缺陷品與缺陷品(渣孔)之比較

3、縮孔，如表(3.3)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(縮孔)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	規範中
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	澆注溫度不適當

表(3.3) 無缺陷品與缺陷品(縮孔)之比較

4、熱裂，如表(3.4)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(熱裂)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	燒結過久，殼模強度過強
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	造成高溫金屬液無法熔化

表(3.4) 無缺陷品與缺陷品(熱裂)之比較

5、飛邊，如表(3.5)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(飛邊)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	燒結過短，殼模強度不夠
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	造成金屬液滲入殼模

表(3.5) 無缺陷品與缺陷品(飛邊)之比較

6、剝砂，如表(3.6)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(剝砂)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	規範中
熔化作業	規範中	規範中
澆鑄作業	規範中	金屬液高溫澆鑄，表面快速熱膨脹

表(3.6) 無缺陷品與缺陷品(剝砂)之比較

7、流不完全，如表(3.7)及圖(3.1)。

成品 流程	無缺陷品	缺陷品(流不完全)
射蠟作業	規範中	規範中
組樹作業	規範中	規範中
沾漿作業	規範中	規範中
脫蠟作業	規範中	規範中
燒結作業	規範中	殼模溫度過低
熔化作業	規範中	規範中

澆鑄作業	規範中	及澆鑄溫度過低所引起
------	-----	------------

表(3.7) 無缺陷品與缺陷品(流不完全)之比較



圖(3.1) 實作結果

第四章 包模鑄造之實作過程

如圖(1.1), 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 :

4.1 準備蠟液

1. 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熔解，然後再調和使用，如圖（4.1），作業員正在攪拌熔融蠟液，以便製作蠟模。



圖（4.1）熔解蠟液作業

2. 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

（4.2）。

3. 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（4.3）。



圖（4.2）調和蠟液作業



圖（4.3）蠟液保溫恒溫處理

4.2 擠射蠟模

1. 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：

- a. 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 之間。
- b. 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 $1 \text{ kg} / \text{cm}^2$ 或 14.7 psi）。
- c. 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。

2. 蠟模與模具

圖（4.4）可清楚看出，射蠟完成後，蠟模與模具及其流路情形。



圖（4.4）蠟模、模具及其流路

3. 蠟模儲存

儲存時，較大的蠟模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。

4. 蠟模水冷

蠟模如圖（4.5）之蠟件，射蠟完成後，應即刻放入水桶中，以防止變形。



圖 (4.5) 蠟模水冷定型作業

5. 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。

4.3 組立蠟樹 (wax tree)

1. 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（4.6）。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。最後將已焊合蠟模的主澆道焊上蠟樹頭形成蠟樹。



圖（4.6）組立蠟樹

2. 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。

注意蠟樹懸吊處之把手，係利用具有內螺紋的把柄與圖（4.7）所見之螺桿組合而成，便於握持。



圖(4.7)蠟樹頭(內包附螺桿金屬錐與把手的螺桿栓合)

3. 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。清潔後涼乾。如圖（4.8）。

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（4.8）蠟樹涼乾

4.4 陶瓷殼模製作

1 沾漿作業

陶瓷殼模的沾漿及黏砂作業以用人力；圖（4.9）



顯示。

圖（4.9）沾漿作業

首層泥漿係由矽酸膠或矽酸乙脂四十與鋯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。

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（4.9）。

2.黏砂作業

待蠟樹上之漿液不再大量滴落時，以用人力將自動移至浮砂筒上方，以固定角度旋轉，藉助漿液的黏性將耐火砂黏在蠟模上。如圖（4.10）。



圖（4.10）浮砂作業

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。

3. 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（4.11）。



圖（4.11）耐火泥漿調配

4. 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機，利用風扇協助漿液之乾燥，或於乾燥吸塵室中通入少許氨氣（ammonia），以促進殼模之乾燥，但應注意排氣問題。如圖（4.12）所示。



圖（4.12）陶瓷殼模將進入乾燥吸塵室中

5. 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，為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。

5. 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。

4.5 陶瓷殼模的脫蠟與燒結

1. 蒸氣脫蠟

澆口朝下將殼模擺放在蒸氣爐中，如圖（4.13），利用約 150 、 80psi 之高壓蒸氣進行脫蠟作業。



圖（4.13）陶瓷殼模蒸氣脫蠟爐

2. 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 的燒結（sinter）過程。如圖（4.14）所示。



圖（4.14）陶瓷殼模高溫燒結

4.6 熔化與澆鑄

1. 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（4.15）。



圖（4.15）高週波感應電爐熔解合金鋼作業

及高溫陶瓷殼模之澆鑄作業

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。

2. 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（4.15），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。

4.7 精密鑄件的後處理

切除澆口流路

如圖（4.16），應用切割工具切除澆口及流路，以便分離鑄件。切割作業時，鑄件應用特殊夾具定位，以免意外受傷。



圖 (4.16) 脫蠟精密鑄件之切除澆口作業

參考文獻

1. 林宗獻著，『精密鑄造』，全華科技圖書公司，台北市，1998 年。
2. 賴耿陽著，『精密鑄造技術』，復漢出版公司，台北市，1998 年。
3. 張正夫譯，『精密鑄造法』，全華科技圖書公司，台北市，1980 年。
4. 張應吉著，『鑄造工程實習集錦』，高立圖書有限公司，台北市，1994 年。
5. 張晉昌著，『鑄造學』，全華科技圖書公司，台北市，1999 年。
6. 黃廷合、李偉賢著，『鑄件缺陷之成因與對策』，全華科技圖書公司，台北市，1989 年。
7. 許廷珪著，『鑄造技術入門』，中華民國鑄造學會，台北市，1982 年。
8. 郭永聖著，『精密鑄造鑄件鑄疵之分析及對策』，中華民國鑄造學會，台北市，1980 年。