

# 第一章 序論

## 1-1 研究動機

在現代社會中，塑膠材料的應用相當廣泛，從傳統的文具、玩具、汽機車外觀件，到光纖通訊的連接器、生醫晶片、液晶顯示器的導光板，光學鏡片等高科技產品，均已經大量使用塑膠作為素材。

射出成型製程擁有生產快速與自動化的優點，因此成為製作塑膠產品中最為廣泛應用的製程之一，但是由於模具構造、產品造形，以及機台規格等限制，塑膠產品的外觀缺陷（如結合線、毛邊、外觀刮傷、精度不佳、翹曲、包風現象）仍然是目前廠商在開發產品或者生產產品過程中必須投入大量的時間及心力去克服解決的問題。

在外觀問題中，結合線為最常見的缺陷之一，結合線不僅影響外觀，也會造成應力集中，使產品的結構強度降低。雖然可藉由提高成形溫度、模溫、射速、加強排氣以及改變澆口位置等方法改善，但仍然無法徹底解決。目前這項缺陷雖可利用塗裝、電鍍等二次加工克服，但是隨著環保問題而日漸嚴苛的塑膠回收要求，以及透明塑膠外觀件的大量應用，使得廠商在產品開發時不得不將二次加工成本考慮進去，這讓結合線成為外觀缺陷上最常見，但是也是最難處理的問題之一。本研究是將剪斷機構安裝於塑膠射出成型模具內。藉由控制剪斷機構的尺寸設計以及塑膠射出成型後的冷卻時間長短，完成一套可應用於開孔塑膠件製作之模內沖孔機構，以

改善開孔附近的結合線、應力集中以及孔徑收縮等缺陷，使得所生產的產品良率能夠大幅提昇。

## 1-2 射出成型的問題點

### 1-2-1 結合線

結合線發生的最主要原因為塑料合流處之空氣無法從模穴內排出所造成。因此一般射出成型操作人員常藉由下列三種方法來解決結合線的問題：提高料溫、提高模溫以及增加排氣機構。這三種方法，都是以降低塑膠黏度，改善塑膠的流動性，並且幫助空氣從模穴內排出。然而此三種方法可改善結合線問題，但也延伸出其他問題所在，增加料溫雖然能夠降低材料黏度，使得塑膠充填更為順利；但是料溫提高太多，容易造成材料裂解，而發生其他更麻煩的外觀問題；增加排氣機構（例如頂針或者是入子）也可以幫助結合線痕跡消除，但是並不適用於所有的產品（透明塑膠件上不能夠有頂針或者是入子的痕跡）；因此，調整模溫就成了現場人員最常使用的解決問題方法。

在射出成型過程中，塑膠是以層流（Laminar Flow）的方式流動，而其流動波前（Melt front）則是以噴泉流（Fountain Flow）的形式充填模穴，如圖 1-1。噴泉流的流動方式，會讓塑料從模壁接觸側逐漸向塑料中心層固化。

當模溫過低時，固化層的增加速度會加快，使得中心熔膠可通過的通

路面積減少，增加熔膠流動的阻力。如果模溫過低造成固化速度過快時，中心熔融區域會大幅減少，最糟的狀況甚至會造成短射 (Short Shot)。當塑膠在充填階段發生流動困難的問題時，不但會造成外觀缺陷 (如短射、收縮不均) 等現象，產品也容易因為體積收縮不均而發生翹曲變形的問題。

模溫提高時，除了高模溫能夠降低進入模穴的塑膠黏度以及改善塑膠的流動性外，還能夠降低成形壓力以及降低鎖模力。但是由於模具溫度增加後，塑料從熔融溫度降低到頂出溫度所需的時間勢必會隨之增加，成形循環時間 (Cycle Time) 也會隨之增長，這對於希望降低生產成本而言是無法接受的結果。雖然目前已經有變模溫系統的開發應用，但是可應用的塑料有限，仍然無法應用於各種材質的塑料上。

模內沖孔並不是一個新的製程，但是傳統的模內沖孔製程由於沒有相關的實驗佐證，開發人員只能以試誤法進行測試；再加上相關的研究並不多，實際應用於量產製程時大多應用於 1.5mm 肉厚以下的產品。本研究希望能夠將相關的參數作一科學化的量測與比對，並且將測試產品的肉厚設定為 2.5mm，這樣不但能夠讓更多的產品於開發時可採用此製程進行結合線改良，設計人員在模具開發以及試模階段也能夠有足夠的參數及研究佐證其設計理念。

## 1-2-2 尺寸精度

塑料本身具有熱脹冷縮的特性，而其收縮率將會直接影響到成形品的尺寸精度，所謂的收縮率是指模穴尺寸與成形品室溫時尺寸兩者之差與模穴尺寸之比，稱之收縮率。成形品收縮的原因一般為下列四點[1]：

1. 塑膠材料的膨脹係數與模具材料的膨脹係數之差異：在射出成型加工時，當熔融的塑料充填滿整個模穴時，塑料與模具的尺寸皆相同，但在開模拿出成品後，成品溫度降至常溫時，因為膨脹係數之間的差異，造成兩者之間尺寸的不同，此為成形收縮之最大原因。
2. 彈性回復：在射出成型加工時，塑料受到強大的射出力壓縮，但此壓力會在開模後會消失，因此塑料會有膨脹的效果。
3. 塑性變形：將模具開啟拿出成品時，因為成品各部份所受的壓力不均，而使成品產生翹曲等缺陷。
4. 容積之變化：比容積較大的結晶性塑膠材料，從模具溫度降至室溫時，產生相的變化，形成不定形高分子，因此容積變化很大。

由上述各項收縮原因可知，成形品的收縮率不易確定，因此要求尺寸精密的成形品或數個模穴的模具時，其收縮率必須先行試製才能確定。

## 1-3 研究目的

本研究是針對開孔塑膠件之外觀結合線缺陷進行研究改善。開孔塑膠件在射出成型之後，於孔洞末端會形成結合線的痕跡，而影響產品外觀、

機械強度及尺寸精度。另外在結合線的發生處，容易因為應力集中的關係而造成結構破壞，所以如何一舉消除結合線，同時達到產品的外觀以及強度上的要求，就成為本研究的研究目標。

本研究提出之模內沖孔加工機構，最大的特色是將傳統應用二次加工的沖壓剪斷機構安裝於塑膠射出成型模具內。在塑膠充填模穴結束，模具將產品頂出之前，以安裝於模具內的剪斷機構加工所需的孔洞。在開模頂出後可直接拿到已經完成剪斷需求的產品，整個製程是一個生產自動化的流程；雖然此製程不是個創新的製程，但是傳統的作法多半應用於 1.5mm 以下的肉厚，而且在模具設計及沖孔參數等取得大多採用試誤法。本研究希望藉由各項參數的數值量化，找出影響模內沖孔成型的主要影響參數；另外，本次研究的平板厚度達 2.5mm，比一般傳統應用於 1.5mm 以下來的嚴苛，這是本篇論文與以往研究的最大差異。

## 1-4 文獻回顧

本研究所採用之模內沖孔製程目的在於改善產品外觀，但在成形過程中也會有殘留應力、翹曲產生而導致產品品質不佳，因此要改善這些缺陷，可參考前人所做實驗及相關文獻著手，有助於研究進行。

### 1-4-1 結合線的影響

#### 結合線的產生及其影響

射出成型的最大優點在於一次製程中可直接製作出各種複雜外形的產

品不需要額外的二次加工。但是由於其製程的限制，某些外觀問題變成不可避免的外觀缺陷，在這些缺陷中，結合線為最明顯的問題，結合線不僅影響產品的美觀，也容易造成應力集中而使得產品機械強度下降。

結合線又稱熔合線、熔接線或融接痕等，在充填過程中，由於模穴內有障礙物（如銷）阻礙塑料的流動，使得塑料的流動變成兩股或兩股以上的熔膠流動時，波前以相對的方向流動，當流動路徑越遠時，熔膠的溫度越低，當兩股熔膠交會時，溫度、壓力及剪切力皆不同，使得合流部份接合處的分離擴散不易，而形成如圖 1-2 所示的結合線。若合流位置有空氣或其他揮發性物質（如離型劑等異物），空氣殘留在合流處，當壓力逐漸升高時被壓縮，使其擴散不易，亦會形成結合線，如圖 1-3 所示。

為了解決結合線的問題，由文獻[2][3][4]可得出以下改善方法：

1. 改變澆口位置：改變澆口位置使結合線形成在影響產品強度較低的區域，或者在可能形成結合線的位置設置排氣機構，使空氣能夠藉由排氣機構釋出，避免結合線的形成。
2. 提高模溫及料溫：在高溫的情形下，高分子鍊活動性較佳，增加熔接區域的強度；反之，在低溫區域的熔接強度較差，但藉由提高模溫及料溫，會增加成形品的成形週期。
3. 增加射壓及射速：增加射壓及射速會使塑料受到較大的壓縮，且因為剪切熱的增加使得塑料分子間結合更緊密，有助於成品強度的提升。

4. 局部快速加熱：在會產生結合線的地方，使用加熱機構再配合射出成型製程在需要加熱部位進行加溫與降溫，藉此消除結合線。圖 1-4 利用油壓缸配合射出成型的製程步驟帶動槓桿來接觸並進行加熱。

雖然改變澆口位置、提高料溫及模溫等方法可以改善結合線的問題，但是當材料內添加金屬粉末等添加物時，添加物的痕跡仍然無法藉由上述的方式去除掉，唯一的作法只剩下二次加工裁切。而本研究藉由模內沖孔的製程，不但可以一舉改善結合線的問題，還可以降低成形品二次加工所需花費的成本。

#### 1-4-2 模內沖孔機構的參數控制

根據文獻資料[5][6]，目前模內沖孔機構的力量來源多半來自於油壓缸以及射出成型機之頂出機構；而控制之成形參數則是以保壓製程結束後之冷卻時間。這正與剪斷機構所要求之剪斷速度控制與成形件溫度控制等兩項因素不謀而合。因此本研究將針對這兩項問題提出改善方案及製程參數控制。

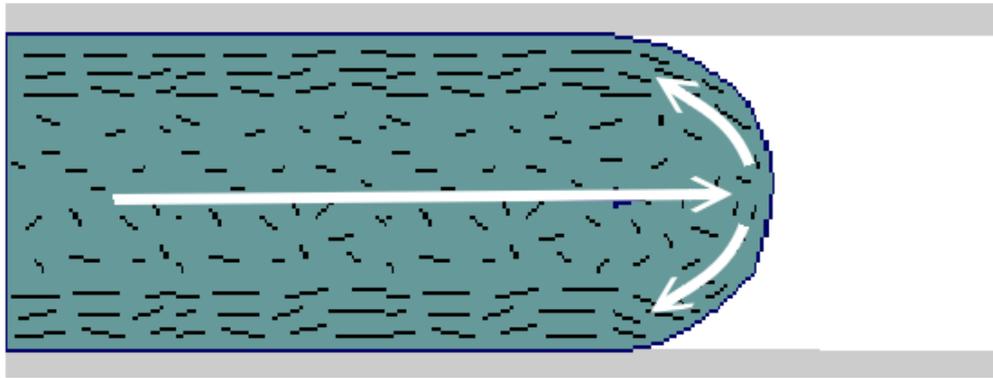


圖 1-1 塑膠充填的噴泉流現象

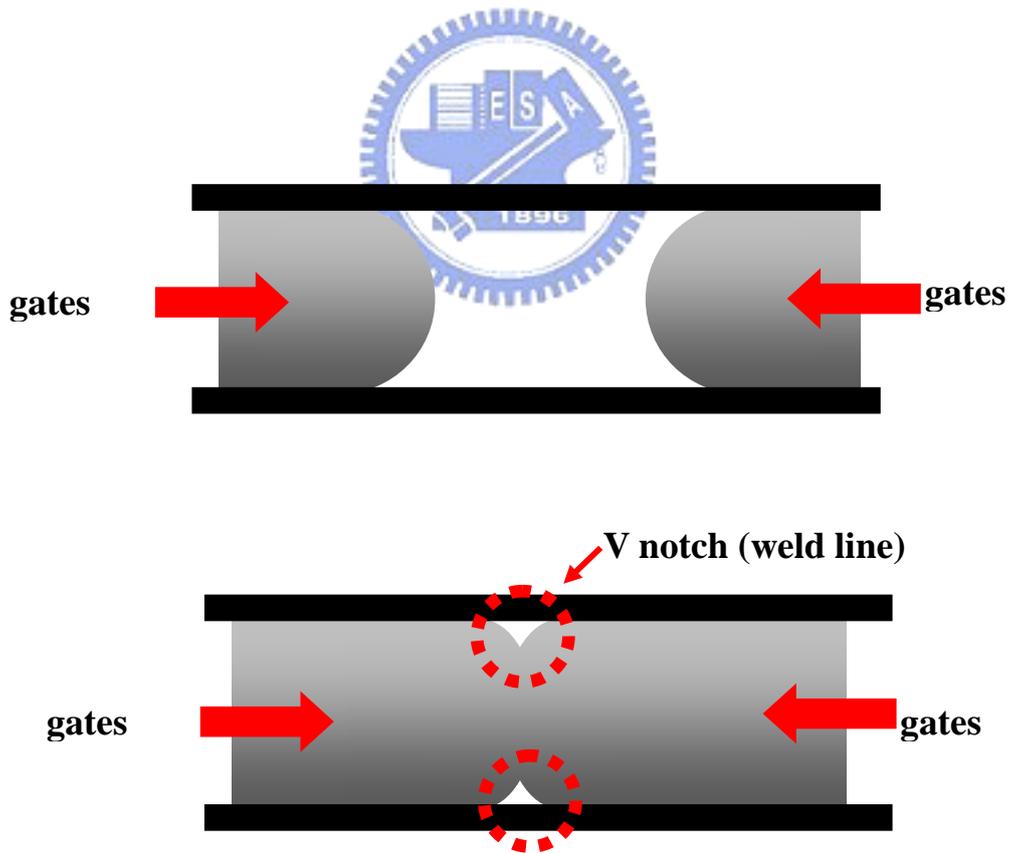


圖 1-2 結合線形成示意圖 1[1]

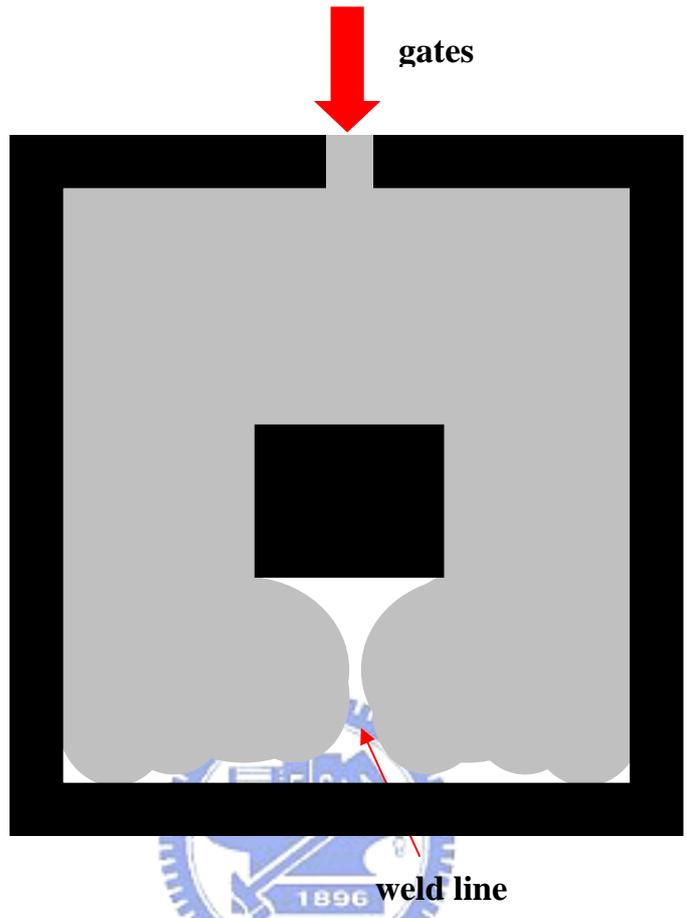


圖 1-3 結合線形成示意圖 2[1]

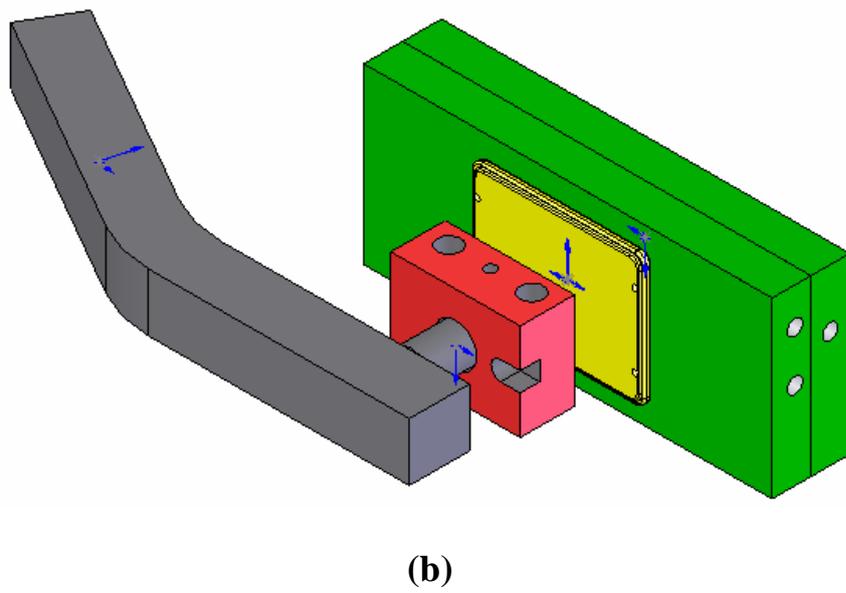
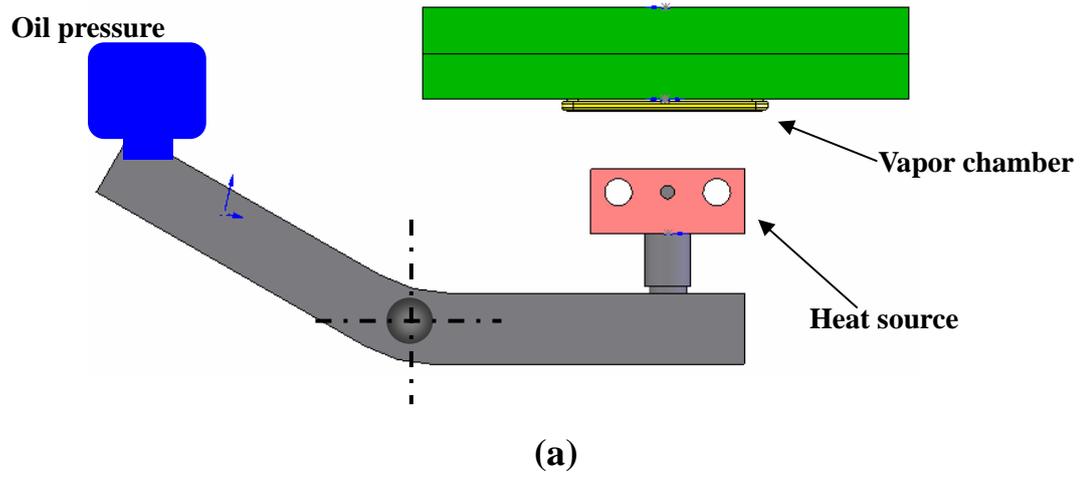


圖 1-4 加熱槓桿示意圖[1]

## 第二章 熱塑性塑膠剪斷介紹

塑膠材料在機械材料中所佔的比例正逐漸增加，因此，塑膠材料的剪斷加工也變得相當普遍。而塑膠材料與金屬材料的剪斷加工特性有相當大的差異，原因在於塑膠材料具有各種多樣的材質，並未全部有系統性的整理。但是塑膠材料的剪斷加工已日漸重要，所以以下將介紹熱塑性塑膠材料的剪斷。

### 2-1 剪斷分離過程與切口形狀

熱塑性塑膠為線狀高分子的集合體，有塑性變形能，無加工硬化現象，剛性低、材料變形範圍廣，其剪斷分離過程稍異於金屬材料。在室溫下以較低速進行剪斷，觀察其剪斷情況之分離形態與切口形狀。北條等人[7]將其分離過程以及分離型態大致上分為三種類型：(1) 圖 2-1 (a) 的破斷為拉張力所致；(2) 圖 2-1 (b) 的破斷為龜裂所致；(3) 圖 2-1 (c) 的破斷為龜裂成長與二次剪斷所致。

#### (1) 拉張力剪斷

合成樹脂 (polypropylene)、聚乙烯 (polyethylene) 和耐龍 (nylon) 等屬於此種型態。在裂縫發生前產生相當大的彎垂後，超過材料的變形能而自切刃尖端發生裂縫，在間隙部份的材料被拉伸成薄膜狀而拉斷分離。

## (2) 龜裂貫穿剪斷

在鹽化乙烯 (vinyl)、聚苯乙烯 (polystyrene) 可看到此種型態。與 (1) 同樣的產生裂縫，在此裂縫停止而產生拉伸破斷後，因為產生新的二次裂縫而分斷。此二次裂縫由於會沿著平行於工具進行方向急速在上下切刃的連結線上成長，因此二次裂縫所造成的破斷面相當平滑。

## (3) 龜裂成長與二次剪斷分斷

聚碳酸鹽 (polycarbonate) 與賽璐珞 (celluloid) 屬於此型態。在彎垂形成後發生裂縫，此裂縫隨著沖頭的切入在成長到相當程度後停留，而產生新的二次剪斷並導致分斷。

### 與金屬剪斷的不同點

在金屬材料可看到所謂由塑性流動所造成的剪斷面，在塑膠材料並不會看到，其主要原因是因為塑膠並不具有像金屬般可形成剪斷面的塑性流動能。但是像合成樹脂 (polypropylene) 之例，一般的流變面在剪斷過程中略與切刃側面接觸，可以看成由於回彈所造成的彎垂一般，也未必沒有剪斷面的意義。

在剪斷過程中，裂縫停留的情況可以說是塑膠的特徵。裂縫在停留後的分離過程中有拉伸破斷、因二次裂縫的貫穿所造成的分斷及二次剪斷三種型態，這些可以看成塑膠特有的分離面形成的原因。

毛邊的發生機構也不同，在金屬材料方面，間隙小時毛邊會因為切刃的磨耗而鈍化，間隙過大則可以看成因拉撕而殘留。而在塑膠材料方面，即使間隙小也會發生毛邊，其發生機構屬於後者。

由於塑膠的回彈極大，因此剪斷完後的切口形狀與剪斷過程中的狀況不同，會造成剪斷完後產生相當大的收縮。

## 2-2 剪斷阻力

熱塑性塑膠的剪斷阻力比金屬小很多，大多為 100MPa 以下。將黃忠良 [8] 所得出結果整理如圖 2-2~圖 2-6 所示，加工條件在間隙小、剪斷速度快以及拘束條件強時，其剪斷阻力的變化趨勢與金屬相近，從圖 2-8 可知，溫度對於剪斷阻力的影響很大，當溫度越高時，其剪斷阻力會越小。但從圖 2-7 與圖 2-2~圖 2-6 可發現，剪斷速度的增加對應於溫度下降。

## 2-3 尺寸精度與切口形狀

圖 2-9、圖 2-10 [7] 表在室溫進行圓形剪斷加工時的尺寸精度和切口形狀的變化。在一般加工時，都會盡量減小間隙或者利用壓板、逆壓板 [8] 來增加材料的拘束條件以改善其切口形狀。但由圖上可看出，要減小材料外徑尺寸差最適合的間隙為 5%~10%，這與減小間隙來改善切口形狀的方法相互衝突，所以在成形時必須依照產品需求而選擇適當的間隙，將兩者相互配合，達到所需的要求。一般而言，材料在越高速、低溫時的加工條件

下，其變形越集中，越容易得到平滑的切口面。

## 2-4 溫度與速度的影響

在熱塑性塑膠材料，對剪斷現象有很大的影響的因子有材料溫度與剪斷速度。此兩種因子在金屬材料雖然也有影響，但由於塑膠材料的融點較低，比較接近常溫的溫度範圍，且在速度效果方面，以沖床的速度範圍其效果便可顯現出來，此影響與金屬比較起來較大。當然，隨著材料的不同，其速度或溫度的影響程度會有相當大的差異。

## 2-5 切口形狀的改善

對於熱塑性塑膠，金屬材料的各種精密剪斷方法都可直接改善其切口形狀。其方法敘述如下：



### 1. 精密剪斷手法：

(1) 剝削：以切削機構除去切口面不良部份。

(2) 高速剪斷[9]：利用樹脂高的速度效果，使變形區域集中，使切口面平滑。

(3) 精密剪斷加工[10]：工具刀刃導R角，增加材料拘束條件，抑制裂紋、使剪斷切口面平滑。

### 2. 刀刃切斷：

以紙、布、皮革等切斷用刀刃工具擠入切斷。

### 3. 振動剪斷手法

(1) 振動加工手法[11]：

使用振動機構，使剪斷區域局部熱軟化，使工具側面與切口面相同。

(2) 振動刀切斷[12]：

附加振動，減少工具與材料間的固體摩擦，減少變形、撓曲。



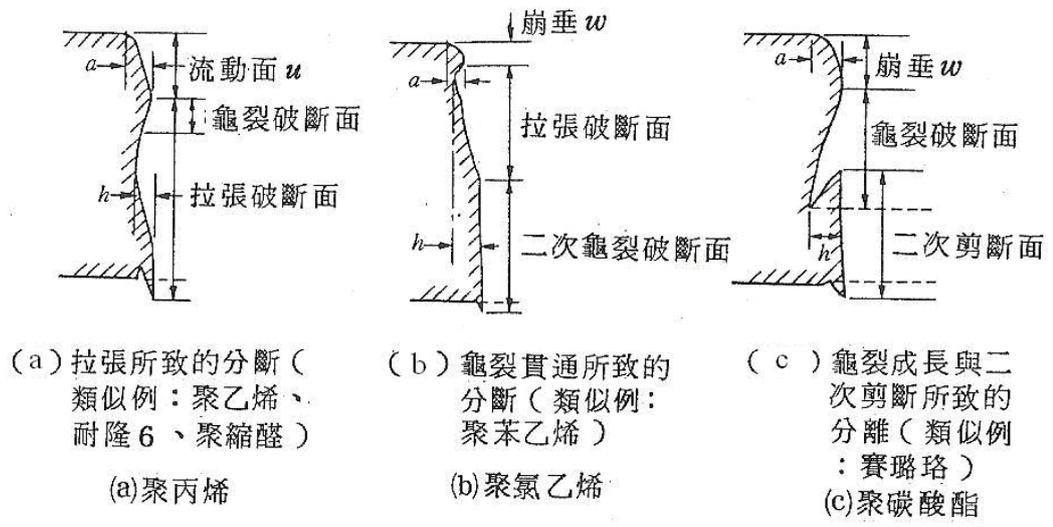


圖 2-1 熱塑性塑膠的切口形狀(間隙5%，加工直徑 32 mm，室溫 24°C)[3]

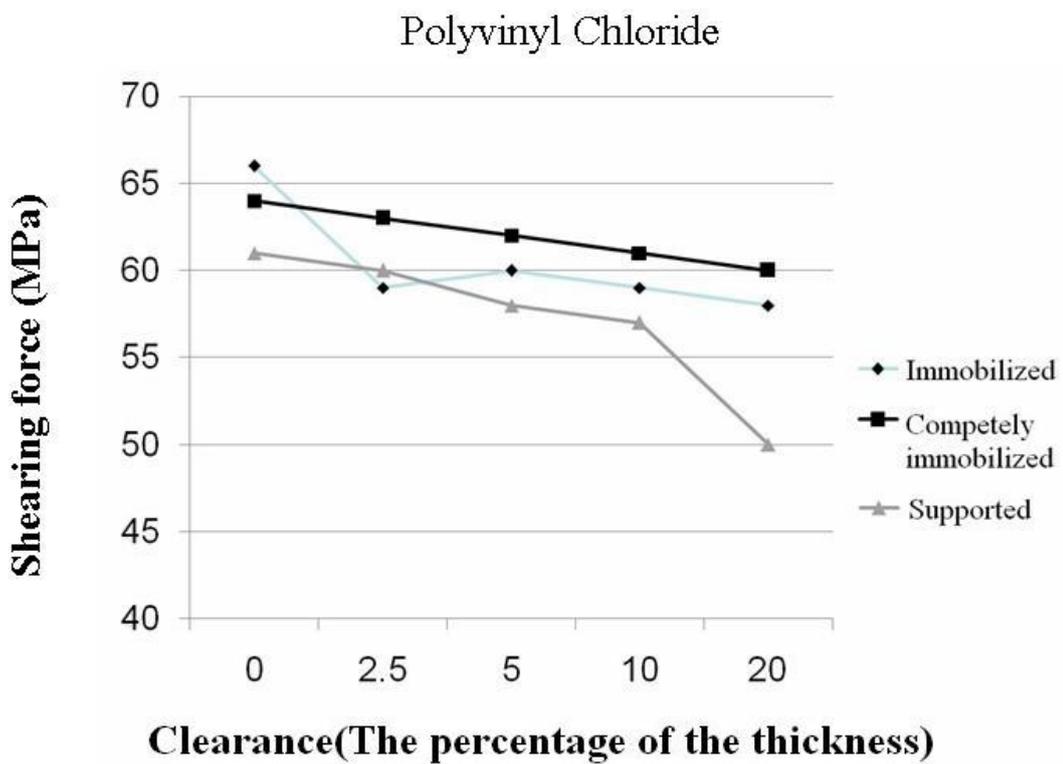


圖 2-2 剪斷阻力與間隙之關係 (材料為聚氯乙炔)

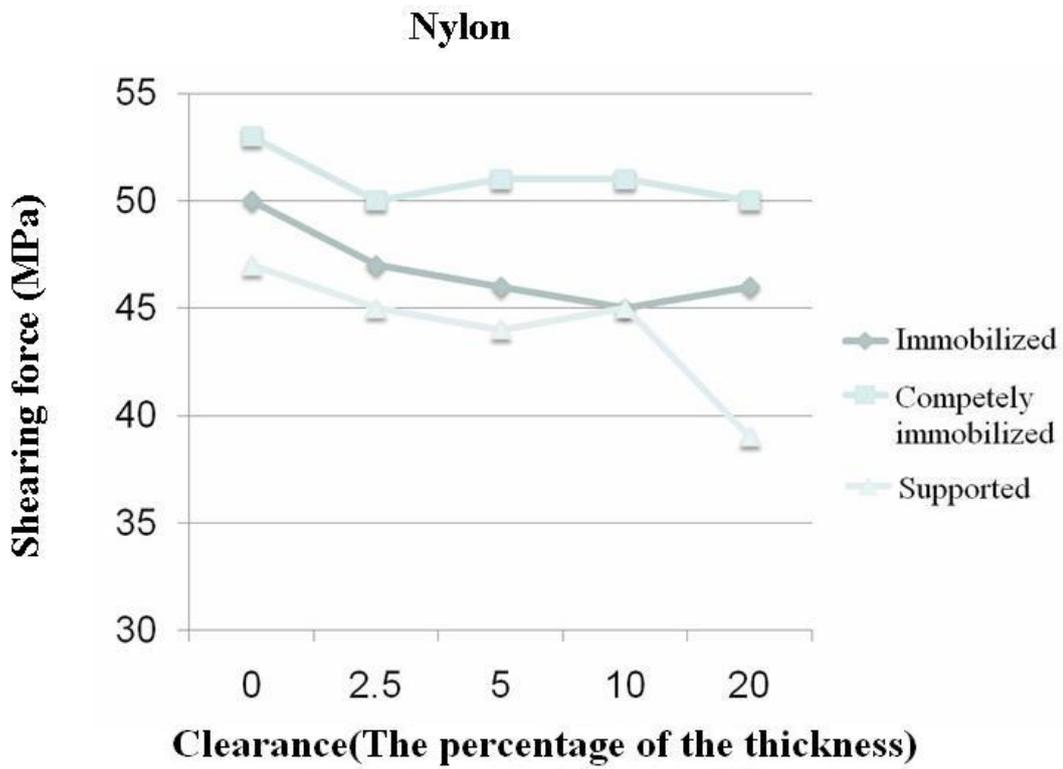


圖 2-3 剪斷阻力與間隙之關係 (材料為耐龍)

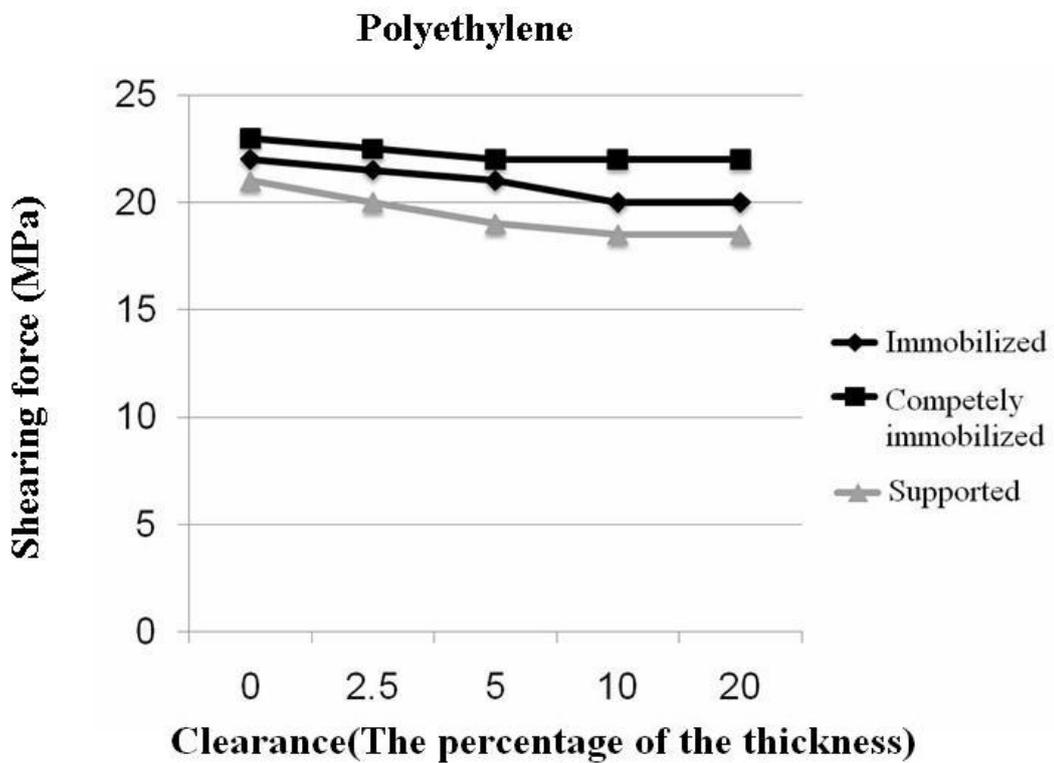


圖 2-4 剪斷阻力與間隙之關係 (材料為聚乙烯)

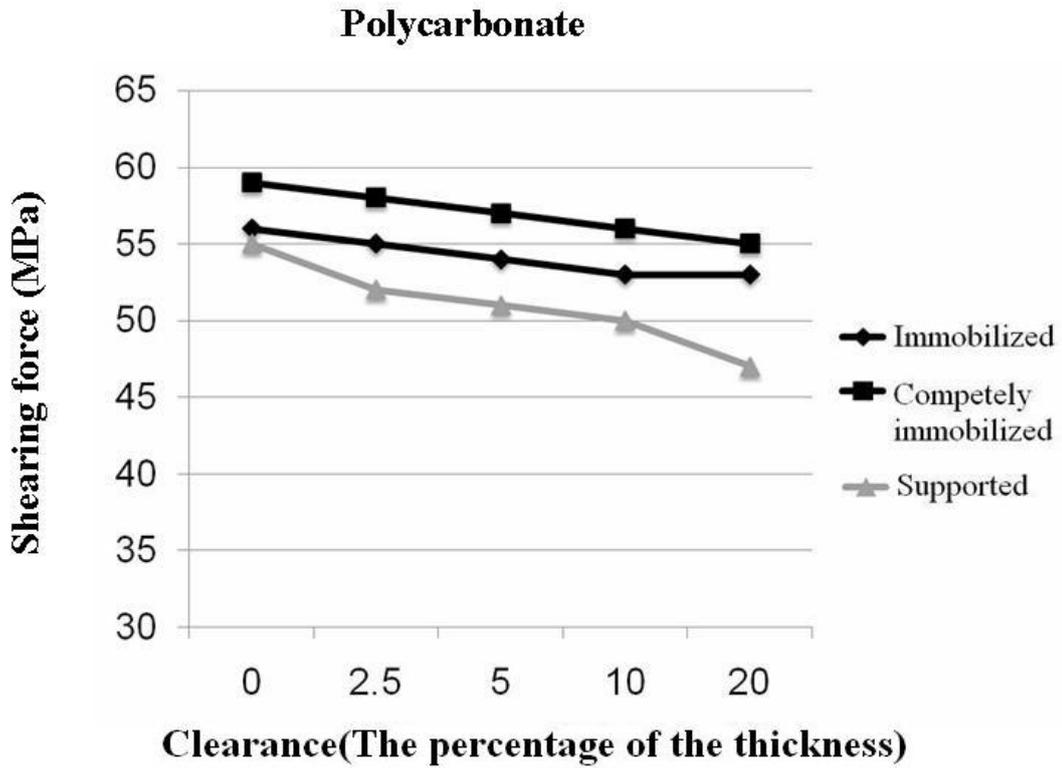


圖 2-5 剪斷阻力與間隙之關係 (材料為聚碳酸酯)

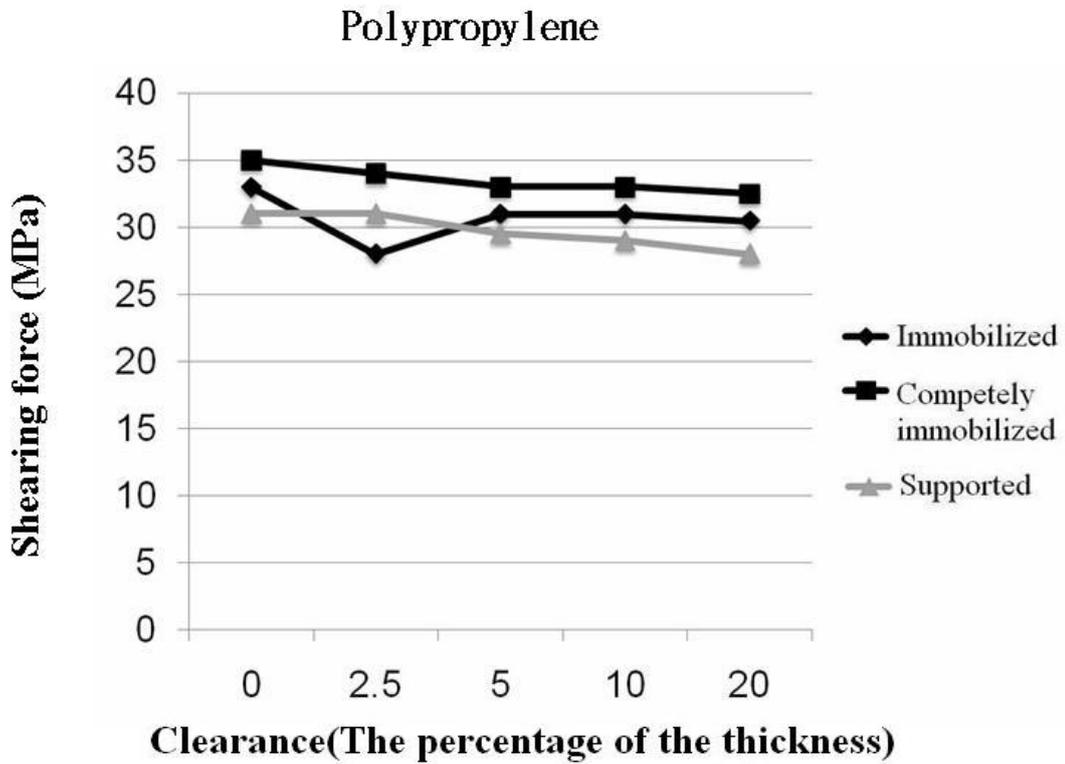


圖 2-6 剪斷阻力與間隙之關係 (材料為聚丙烯)

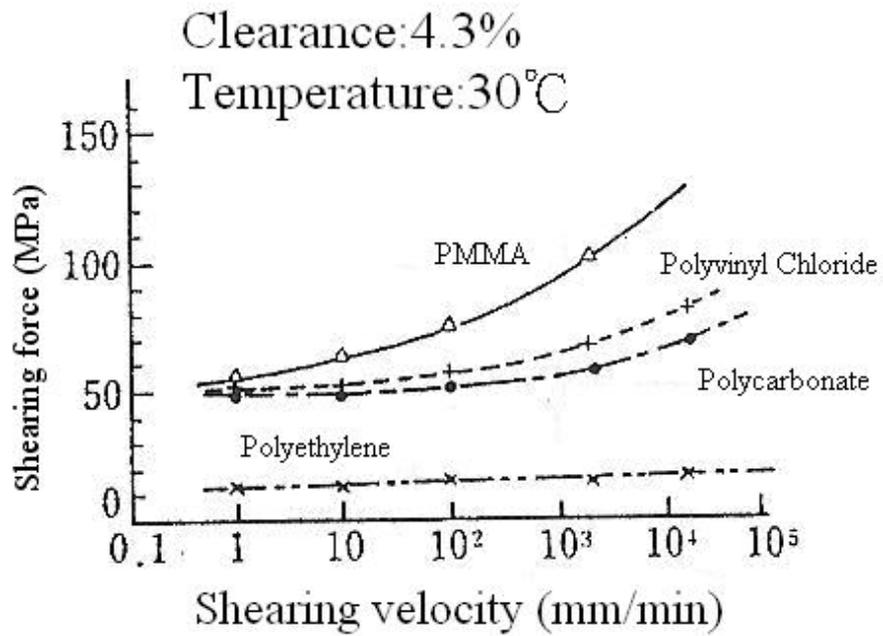


圖 2-7 剪斷速度所致剪斷阻力的變化[7]

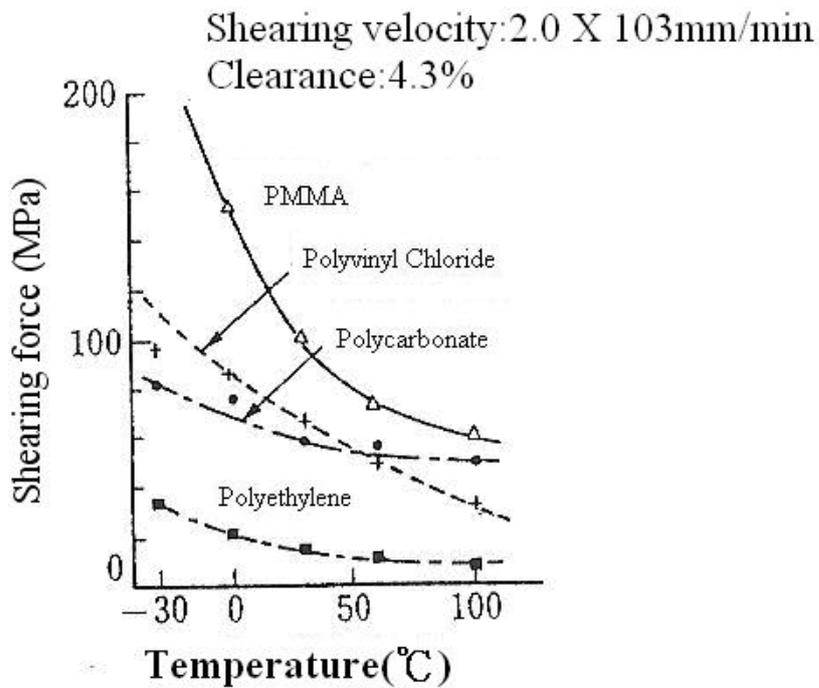


圖 2-8 溫度所致剪斷阻力的變化[7]

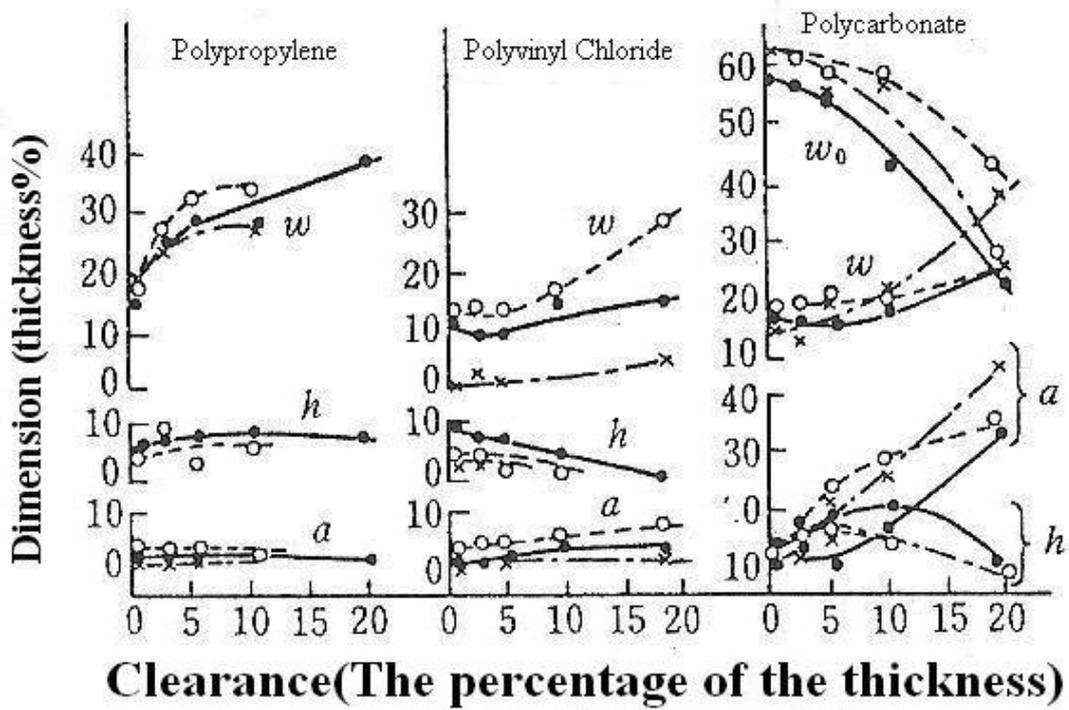


圖 2-9 剪斷加工製品的尺寸精度—剪斷面尺寸 (沖頭直徑 32mm) [7]

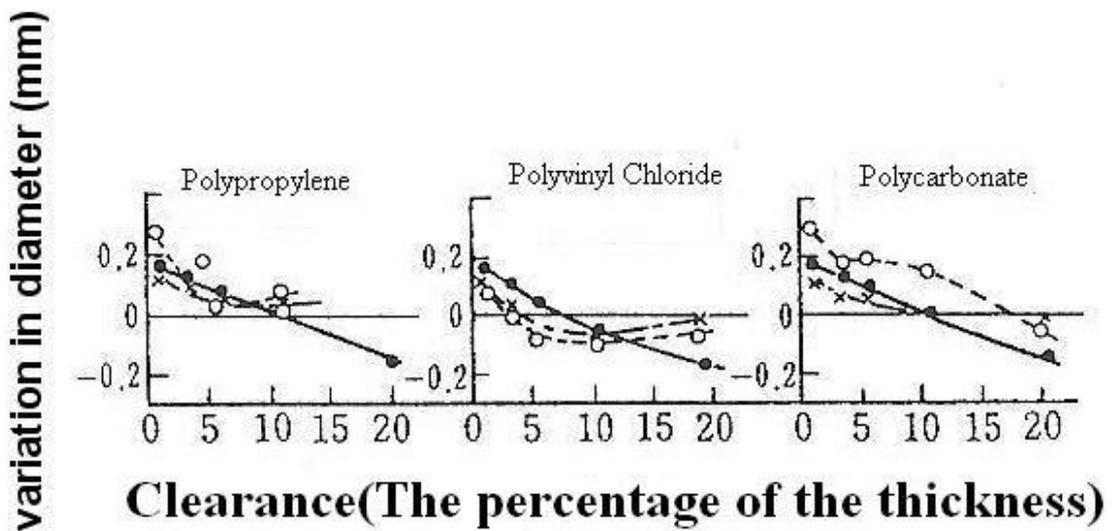


圖 2-10 剪斷加工製品的尺寸精度—尺寸差 (沖頭直徑 32mm) [7]

### 第三章 射出成型與模內沖孔介紹

由於模內沖孔技術必須配合射出成型製程進行操作，所以先對射出成型製程作基本介紹，再說明如何將沖壓製程結合射出成型進行模內沖孔的動作。由於模內沖孔機構並不限制搭配的射出成型製程，因此本文僅針對傳統射出成型製程進行簡介。

#### 3-1 射出成型製程簡介

射出成型製程是一種週期性的循環製程，主要分為四個階段，包括充填（Filling stage）、保壓（Packing stage）、冷卻（Cooling stage）以及頂出（Eject stage）。射出成型基本上是一種非穩態週期程序，所謂非穩態是指整個射出成型是隨著時間變化，而非一成不變，週期性則是指射出成型是一個週而復始的過程。一個典型的射出成型程序步驟如圖3-1所示。

#### 傳統射出成型

傳統射出成型最基本的步驟就是充填、保壓、冷卻、螺桿鬆退及頂出固化塑料等步驟。射出成型機的構造中，一般是使用往復式螺桿，以進行射出機之進料、熔膠及充填過程，其中螺桿之旋轉乃利用油壓作動來完成。圖3-2所示為射出機之射出單元，當塑料從進料筒以一般重力的方式落入料管，旋轉螺桿將塑料推向料管之加熱區；由於螺桿旋轉是以高速進行，在將塑料推向加熱區的同時，其螺牙對塑料所施予的剪切作用會產生極大的

剪切熱，促使塑料提前熔化，以確保塑料在獲得加熱區之熱源後，能夠達到完全熔融的狀態。圖3-3所示為單螺桿之三段區域示意圖，當熔融的塑料從進料區被推向計量區時，由塑料對螺桿螺牙所施與的反作用力，將迫使螺桿向後退至原先設定位置，螺桿轉動才會停止。此時料管前端已儲存足夠的射膠量，等待接著而來的充填製程。

保壓是由於塑膠熔融狀態時之密度較塑膠冷凝為固態時之密度為小，而冷凝後體積則相對縮小，保壓製程即是為了改善這種情形而設計的，當模穴充填完畢後，再以較高的壓力將模穴外的熔膠再次擠入模穴，並持續一段時間後，令模穴內熔膠密度提高，以彌補冷卻後所收縮的體積。

冷卻的目的是將熔膠所含的熱量移除，使塑料從黏稠的熔膠凝結成為固體狀態，以利成品於脫模時被頂出。模具中冷卻系統效率是影響冷卻時間的主要因素，依不同模穴的幾何形狀、位置及大小等，必須設計不同冷卻系統。冷卻劑的不同、冷卻管路相對位置、冷卻管路的大小及冷卻溫度設計等因素都影響到冷卻時間長短及冷卻系統之效益。

料管內之塑料經高溫融化又經壓縮，當螺桿停止轉動後，塑料會膨脹從射嘴流出，為使膨脹熔膠不從射嘴流出，故需在射膠動作結束時，將射膠螺桿後退少許，以增加料管前端之空間，使塑料有多餘的空間膨脹而不至於從噴嘴流出。最後打開模穴，將成品、澆道系統及廢料頂出。

### 3-2 模內沖孔製程簡介

模內沖孔製程是將傳統射出成型加以改良，結合了沖壓製程及射出成型兩種製程的一種改良方法，在射出成型中，熔融的塑料充填滿整個模穴，製作出成品之後，再利用沖壓技術加工所需要的孔洞。此種結合射出成型及沖壓的加工方式稱之為模內沖孔製程，由於模具上的可結合性，兩種製程可以合而為一，進而配合需求，製作出優良的塑膠產品。

模內沖孔製程包括充填(Filling stage)、保壓(Packing stage)、冷卻(Cooling stage)、沖孔(Punching stage)、頂出(Eject stage)五個階段。圖 3-4 為模內沖孔示意圖。而模內沖孔的重點在於「剪斷」的動作是在塑膠模具內完成，而非等產品取出模具後才進行剪斷，不但可以簡化製程，由於整個製程都在模具內完成，可以減少塑件受到污染的機會，對於食品及醫藥級需求的塑件而言是最大的優點。

### 3-3 模內沖孔對結合線之影響

模內沖孔製程是採用先充填後沖孔的成形方式，在射出成型過程中熔融的塑料充填滿整個模穴，由於模穴內並無障礙物，所以不會有結合線的問題產生，在充填滿之後，再利用沖壓的加工技術，由沖頭向模穴內的塑膠施以沖壓得到所需的產品，預期此種成形方法將不會有結合線的問題產生，其產品的機械強度也會有所提升。

### 3-4 模內沖孔對產品收縮之影響

在射出成型製程中，材料的收縮現象是無可避免的，因為塑料具有熱脹冷縮之特性，因為在開模取出成品後，成品冷卻固化時，體積便會收縮。

塑膠熔液經由加工溫度冷卻至室溫的密度變化所導致的收縮，通常會以適當的增加持壓壓力、持壓時間，可減少其收縮。模內沖孔製程利用沖壓的加工方式，對模穴內熔融塑料施予壓力，沖壓壓力有助於模穴內壓力的增加，對塑料來說具有壓縮作用，有助於減少成品之收縮。

### 3-5 模內沖孔製程對成品殘留應力之影響

塑膠射出成型品殘留應力的形成主要有兩種型態，一是殘留流動應力，原因是在充填與保壓過程中，塑料在模穴中流動而產生的剪應力與正應力所造成；另一種為殘留熱應力，因為在冷卻過程中，塑料在通過玻璃轉換溫度時之黏彈性行為結合不平衡的密度變化及不均勻的溫度場而造成的。由於模內沖孔製程在充填的過程中無銷等阻礙塑料的流動，減少了流動而產生的剪應力及有均勻的溫度場，因此在較均勻熔膠的流動下，其成形品有較低之殘留應力及較均勻的分佈。

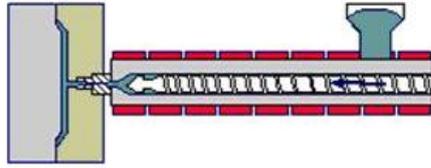
### 3-6 模內沖孔機構的操作時機

塑料在充填過程中，流動的方式為噴泉流動，如圖 3-5 所示，中間區域的塑料被帶至波前前端後，向模壁兩側流動，而熔融的塑料與模穴表面接

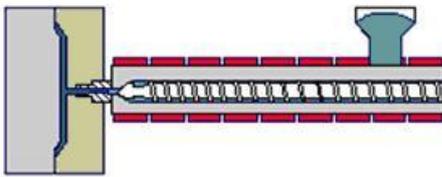
觸，受到模具的冷卻作用形成固化層。一般影響固化層厚度有塑料、料溫、模溫、射壓及射速等參數，通常在固定的塑料下高料溫和高模溫，會使固化層厚度降低，增加成品的成形性，但冷卻速度較為緩慢，成形週期加長；反之降低模溫、料溫固化層厚度會增加。如果模內沖孔機構的操作時間過早，塑件尚未固化，此時無法進行順利的剪斷動作，融熔塑膠還可能流入剪斷機構內，造成機構損毀；而如果模內沖孔機構的操作時間過晚，雖然可以順利完成剪斷動作，但是卻會浪費成形時間，增加產品的生產成本。

### 3-7 利用模內沖孔製程消除結合線

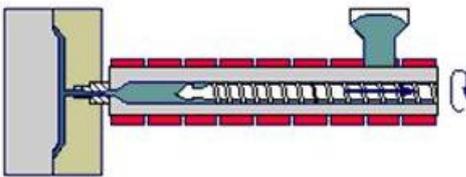
在射出成型中，當熔融的塑料充填滿整個模穴，直接成形整個成品外形，在塑料冷卻過程中，在適當的時間裡再利用沖壓的加工方式加工所需要的孔洞，由沖頭向模穴內的熔膠施以剪斷動作得到所需的成品，得到的成品不但沒有結合線的問題產生，且成品外觀品質良好、機械性質也會有所提升。



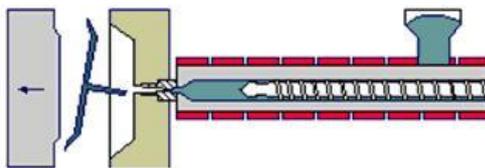
(1) Filling stage



(2) Packing stage



(3) Cooling stage



(4) Eject stage

圖 3-1 射出成型製程步驟

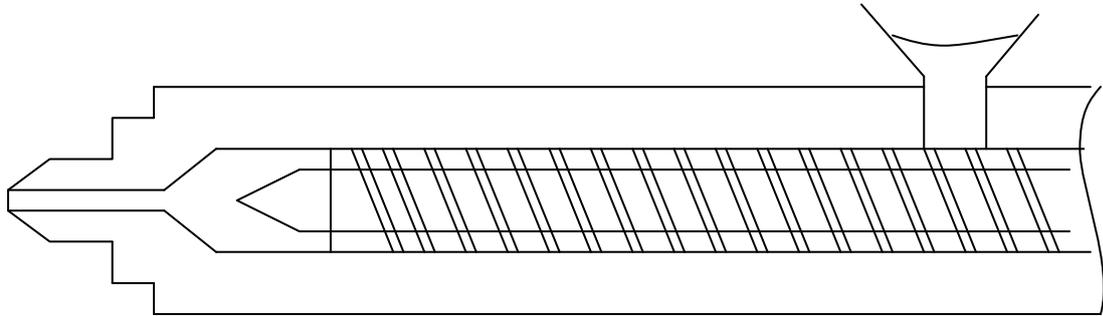


圖 3-2 射出機之射出單元

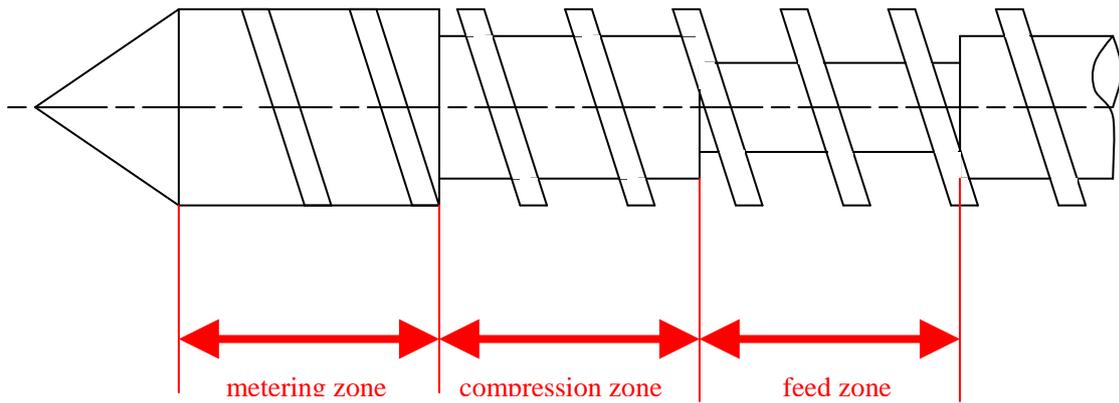


圖 3-3 螺桿之三段區域示意圖

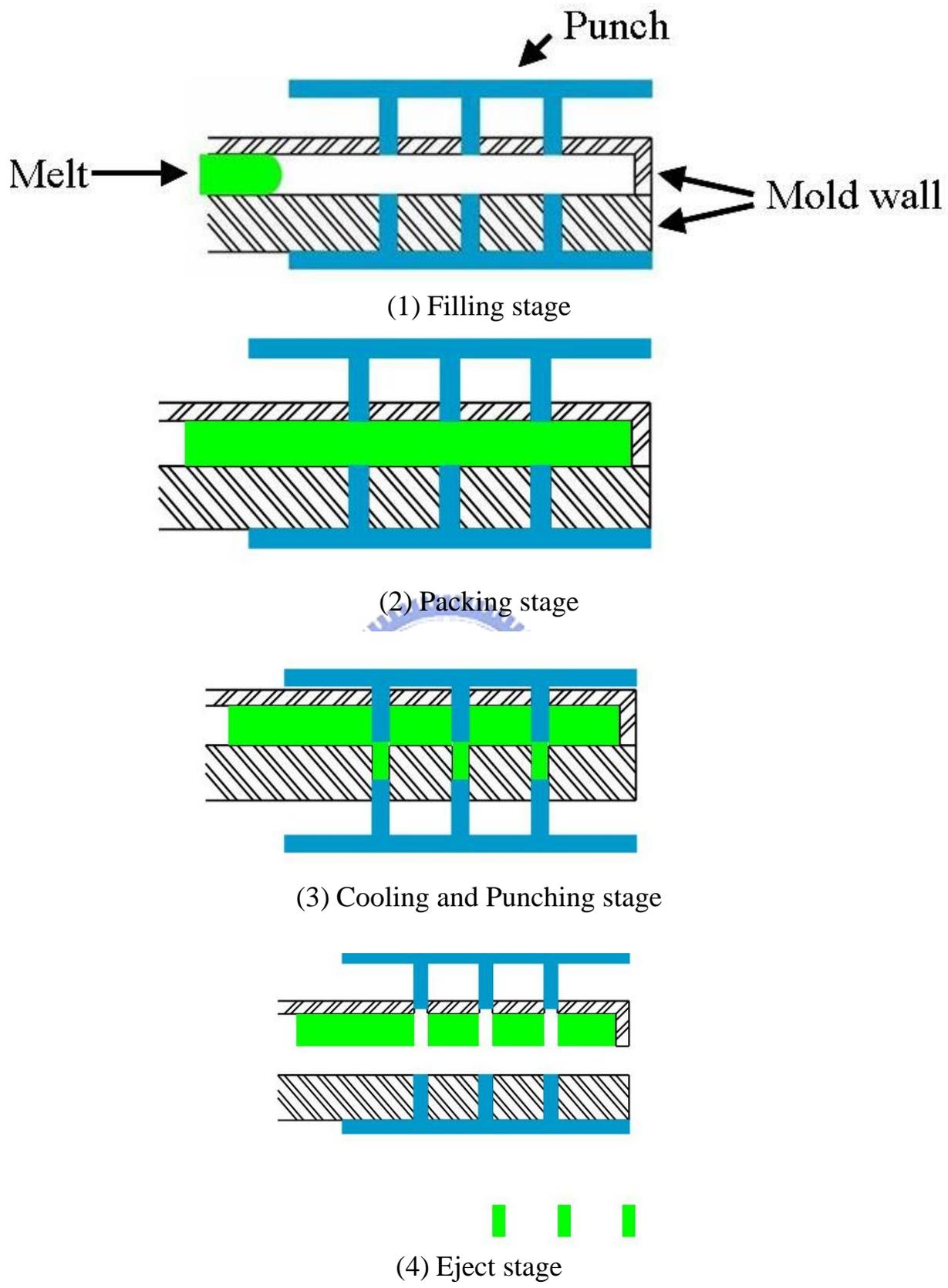


圖 3-4 模內沖孔示意圖

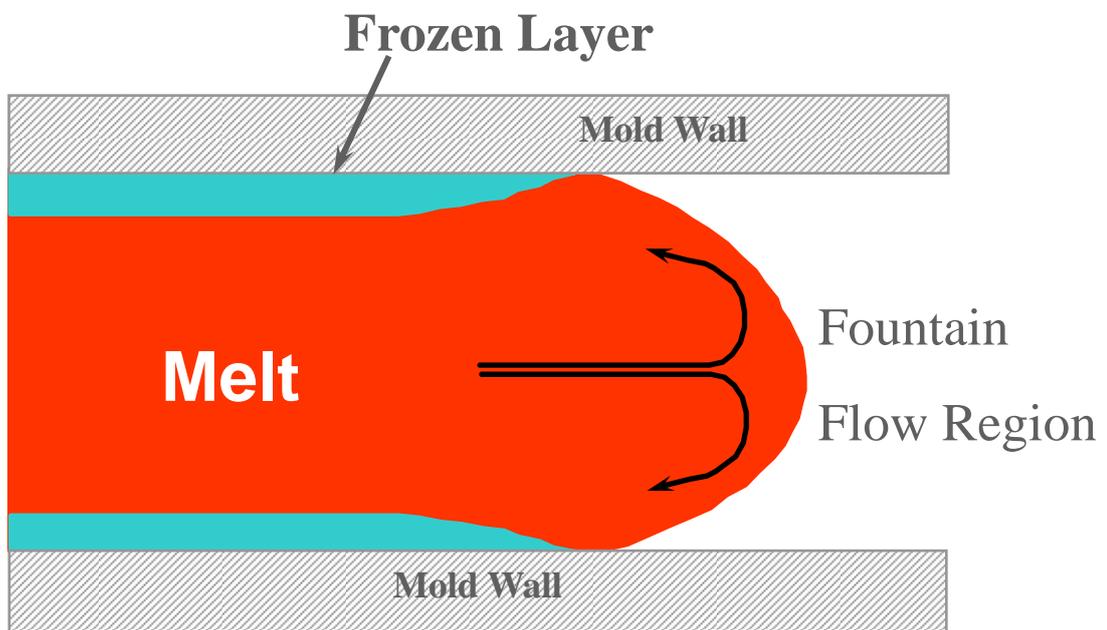


圖 3-5 噴泉流動



## 第四章 實驗規劃與流程

本研究範圍應用於塑膠射出成型模具之範圍，以熱塑性塑膠材料為主，主要注重於利用結合沖壓與射出成型兩種製程的一種改良製程，來解決外觀上缺陷，並以實際成品做驗證。實驗分為兩個部份，一為熱塑性塑膠之剪斷實驗，目的在於探討剪斷速度與材料溫度對於尺寸精度以及剪斷面的影響。二為模內沖孔實驗，從剪斷實驗得知的結果應用於模內沖孔實驗，並以實際產品做驗證。圖 4-1 為整個實驗架構。

### 4-1 實驗材料



塑膠的種類很多，且各有其特色以及應用範圍，一般塑膠材料可分為熱塑性與熱固性兩大類。熱固性材料的特徵為成形加工時由外部加熱使分子構造結合成網狀，一但結合成網狀聚合體，即使再加熱也不能軟化，顯示出所謂的非可逆變化，是分子構造變化所致（化學變化）。

熱塑性材料運用加熱及冷卻，使其產生可逆變化的流動狀態和固化狀態，是物理變化。

在剪斷實驗以及模內沖孔實驗中，主要是針對熱塑性材料做研究，為了讓實驗的結果有更廣的應用面，本篇論文選用了三種經常應用於 3C 產品外觀件之塑料 – PMMA / PC / ABS。

1. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)，商業上通稱為壓克力。其材料具有下列幾

項特性：

- (1) 透明性優，耐候性亦好
- (2) 硬度高，表面光澤優
- (3) 耐水、鹽、弱酸，但會受鹼侵蝕
- (4) 溶解於有機溶劑中成形性良好

2. 聚碳酸脂 (Polycarbonate)，簡稱 PC，該材料具有下列幾項特性：

- (1) 耐衝擊性高
- (2) 耐熱性佳，低溫安定性良好
- (3) 透明性、透光度可達 90% 以上
- (4) 成形後尺寸穩定性高，耐候性佳，且吸水率低
- (5) 無毒性



3. ABS是由丙烯腈 (Acrylonitrile)、丁二烯 (Butadiene) 和苯乙烯 (Styrene)

三者共聚合而成的苯乙烯系塑膠，取其三種聚合物之第一開頭稱為ABS，

ABS具有下列幾項特性：

- (1) 不透明，為非晶質性塑膠
- (2) 耐衝擊性佳、抗拉強度佳、剛性高
- (3) 成形性佳、耐潛變、表面光澤佳
- (4) 不耐長時間日光照射，其基本物性會下降
- (5) 燃燒時會產生黑煙，具有惡臭味

本實驗所採用的塑膠材料其各項基本性質如表4-1～表4-3所示。

## 4-2 實驗設備

### 4-2-1 剪斷機構

剪斷機構包括氣壓缸、模具、底座、快速排氣閥、控溫機、電阻尺與空壓機，如圖 4-2 所示，動力來源為氣壓缸，規格為 $\phi$  200mm、行程 120mm，沖頭為 $\phi$  10mm，模具部份為上下兩平板夾層，模具上下兩部份可放置加熱棒進行加熱，沖頭形狀如圖 4-3，速度則以裝設快速排氣閥改變其快慢，如圖 4-4、圖 4-5 與圖 4-6。

### 4-2-2 射出成型機

射出成型機型號為 SM150，為震雄機械廠股份有限公司所製造，如圖 4-7 所表示。



### 4-2-3 模內沖孔模具以及成形品設計

成形品之幾何形狀如圖 4-8 所示，而模內沖孔模具則是由專業的模具場製作，如圖 4-9～圖 4-12。模內沖孔機構動作示意圖如圖 4-13～圖 4-15 所示。當機構開始動作時，上滑塊向左移動，推動沖頭向下進行沖孔動作，同時下滑塊向右移動，如圖 4-14，之後開模時，上滑塊向右移動，下滑塊向左移動，使沖頭回歸原位，下沖頭將廢料頂出，完成沖孔動作，如圖 4-15 所示。

## 4-3 實驗參數

### 4-3-1 熱塑性塑膠之剪斷實驗

本實驗主要探討的是剪斷速度以及材料溫度對於熱塑性塑膠成形品剪斷面以及尺寸精度之影響，其實驗試片規格為 50mm x 50mm 的平板，厚度為 3.0mm。

#### 1. 剪斷速度

對於塑性材料的剪斷，應變速度的增加會使材料有脆性的行為產生，使拉伸破斷面所佔的比率減少，增加平滑破斷面的比例。此實驗所採用速度為 75 mm/s 及 150 mm/s，藉此來證明速度將會影響塑膠剪斷面。



#### 2. 材料溫度

加熱會使得材料軟化，使其剪斷力較在室溫小，但會使得材料的脆性減少，影響其平滑破斷面的比例。此部分實驗的溫度分別為 20°C、40°C、60°C、80°C。

#### 3. 剪斷力

塑膠材料在加熱後，其強度會下降，因此剪斷力會隨著溫度的上昇而下降。

### 4-3-2 模內沖孔實驗

在熱塑性塑膠之剪斷實驗裡所獲得的參數中，參考最適合的參數組合，實際將剪斷機構與射出成型機做結合，觀察模內沖孔之成形品的剪斷面

與尺寸精度。

模內沖孔與傳統射出的成形加工參數設定上，採用相同的模具溫度、塑料溫度、保壓壓力、保壓時間、射出壓力、射出速度六個控制因子，不同點在於模內沖孔機構可調整沖壓壓力與沖壓速度。此實驗調整沖壓壓力、沖壓速度以及冷卻時間三個參數，分別觀察此三種參數對於成形品之剪斷面及尺寸精度的影響。

### 1. 剪斷力

在模內沖孔製程中，最先考慮的是剪斷力的大小，若剪斷力不夠，便無法順利的加工出所需要的孔洞，所以此力量的大小至少要大過於材料的剪斷強度。



### 2. 剪斷速度

對於塑性材料的剪斷，應變速度的增加會使材料有脆性的行為產生，使拉伸破斷面所佔的比率減少，增加平滑破斷面的比例。實驗所採用的速度為350mm/s及595mm/s兩種速度，藉此來證明速度將會影響剪斷面之品質。

### 3. 冷卻時間

冷卻時間對於模內沖孔製程是一個相當重要的參數之一，若冷卻時間太短，在沖孔時容易產生毛邊等缺陷，若時間太長，塑料已成形便無法順利進行沖孔動作，所以必須在一定的冷卻時間裡進行沖孔。此部分採用的

冷卻時間分別為 10s、15s、20s、25s。

#### 4-4 實驗流程

本研究的實驗步驟分成兩個部份，第一部份為熱塑性塑膠之剪斷實驗，第二部份為模內沖孔實驗。由於模內沖孔實驗需考慮許多影響因素，因此將分成兩個實驗進行。實驗一僅考慮塑件在成形後的剪斷，測試在不同的模具溫度下塑膠試片的剪斷面與剪斷速度以及壓力之間的關係；實驗二則是將剪斷機構與射出成形模具做結合，直接進行射出成形並且進行模內沖孔實驗，最後再比對相關的實驗結果並且進行討論。這樣的作法可以將相關的實驗參數進行逐項對照，取得單純的數值比對與參數影響。

1. 剪斷實驗的實驗條件如表 4-4。

實驗步驟敘述如下：

- (1) 架設剪斷機構，並與電腦做連結以擷取數據，確定能正常運作。
- (2) 將實驗試片放置於模具中，分別加熱至 20°C、40°C、60°C、80°C。

進行剪斷動作並記錄數據。(由於成形過程中模具會加溫，因此在實驗中一併考量模具溫度對於剪斷過程的影響)

- (3) 裝置快速排氣閥以增加剪斷速度，重複上述動作。
- (4) 利用顯微鏡觀察塑膠剪斷面以及量測孔徑尺寸。

2. 模內沖孔實驗的實驗條件如表 4-5。

實驗步驟敘述如下：

- (1) 將模具安裝於射出成型機上，使其合模順暢。
- (2) 於射出成型機操作面板輸入沖壓壓力、沖壓速度、料管溫度、射出壓力、持壓壓力、射出速度、冷卻時間等成形參數。
- (3) 設定模具溫度，實驗前先暖機，使模具與射出成型機溫度達到穩定狀態。
- (4) 利用試誤法找出適當之射出行程及充填量。
- (5) 每改變實驗參數後，射出成型機連續射出成形 10 次循環，待成形條件穩定後的射出成形品才為實驗使用之試片。
- (6) 改變實驗參數，重複上述步驟。



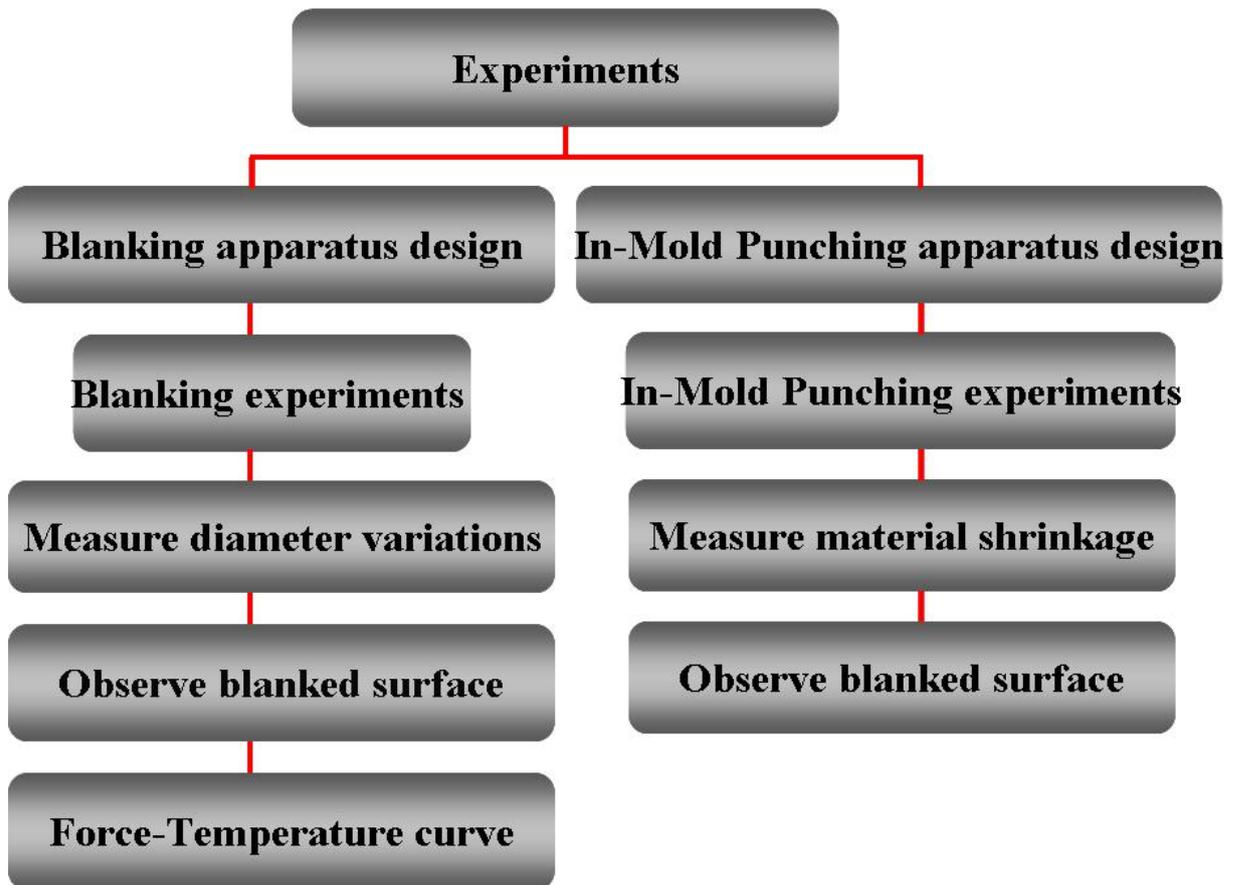


圖 4-1 實驗流程圖





圖 4-2 剪斷機構

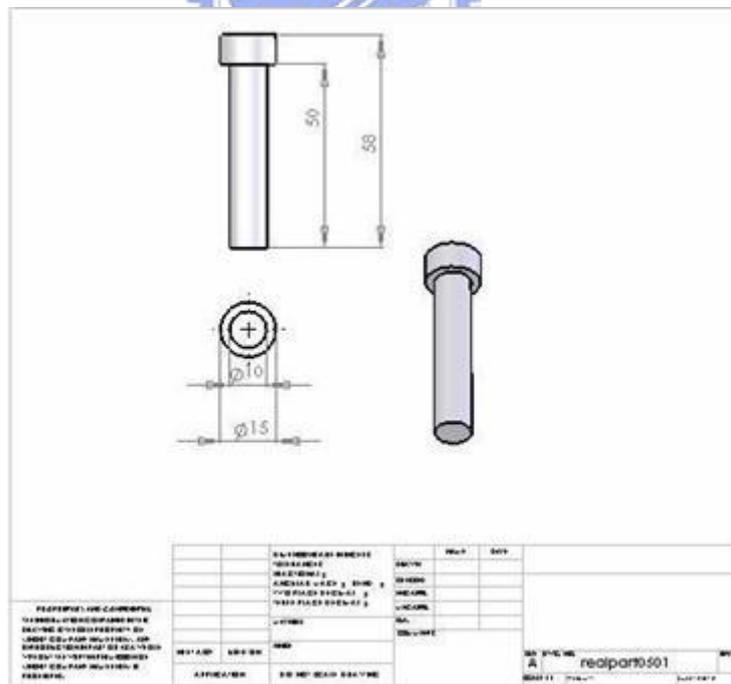


圖 4-3 沖頭工程圖



圖 4-4 模具（未裝置加熱棒）

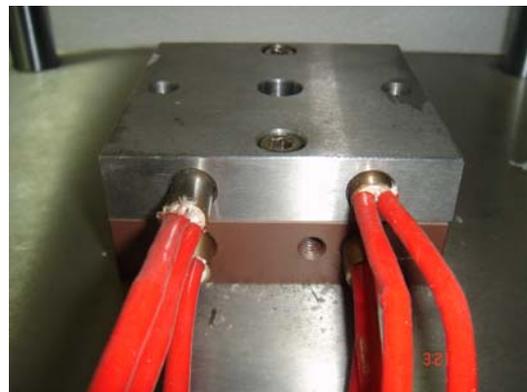


圖 4-5 模具（有裝置加熱棒）



圖 4-6 控溫機



圖 4-7 射出成型機

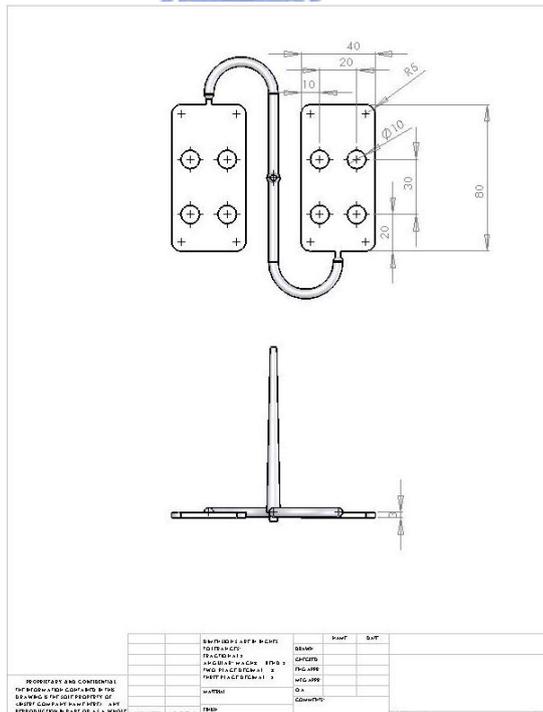
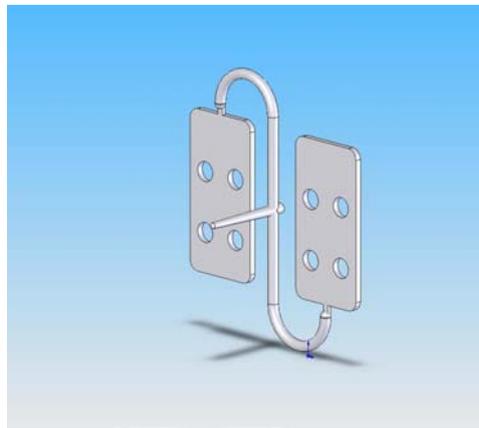


圖 4-8 成形品之幾何形狀

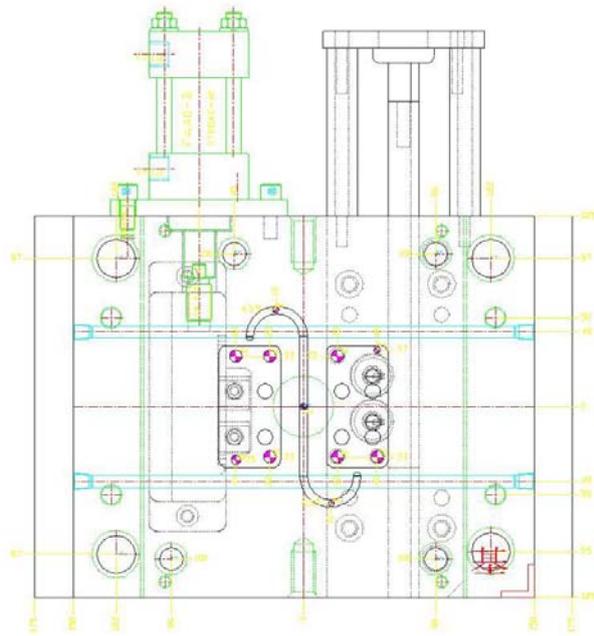


圖 4-9 模具圖公模面

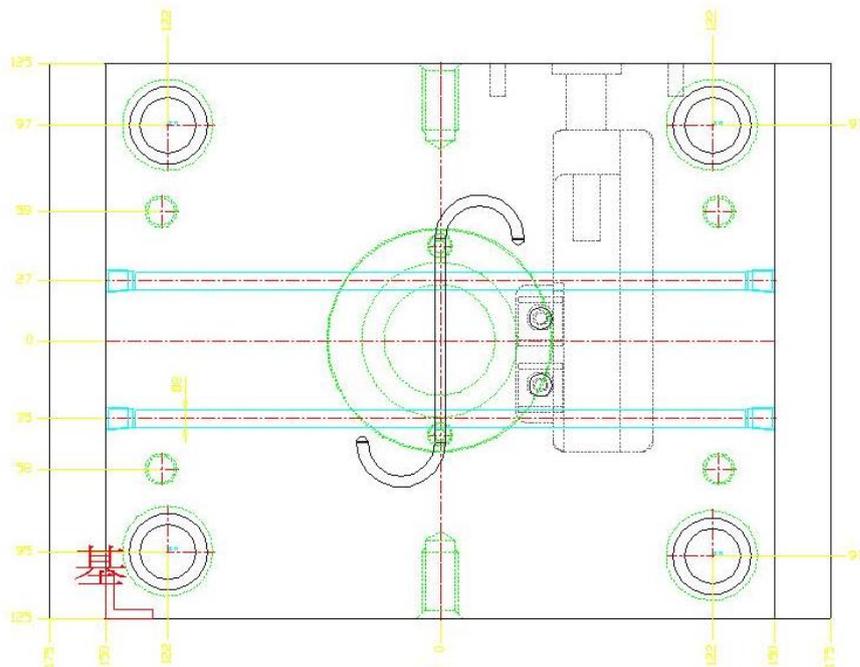


圖 4-10 模具圖母模面

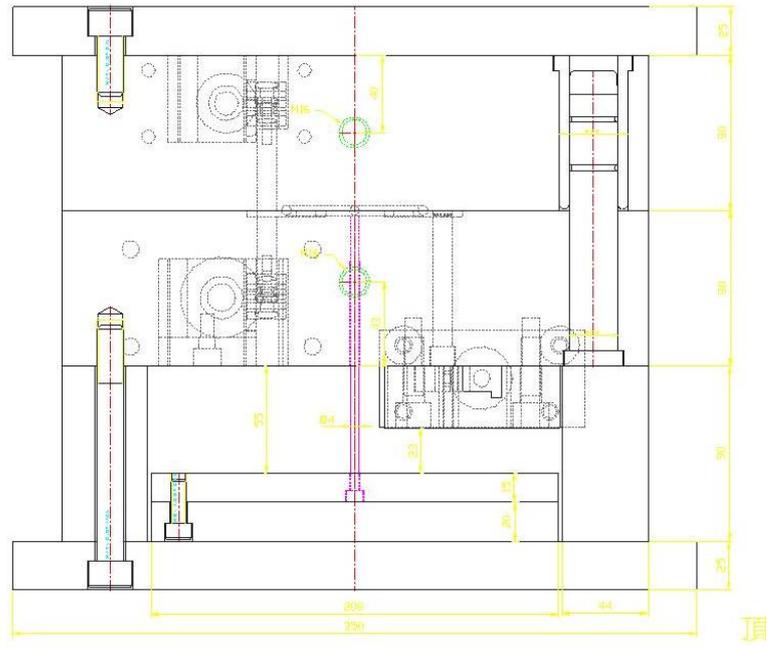


圖 4-11 模具圖上視圖

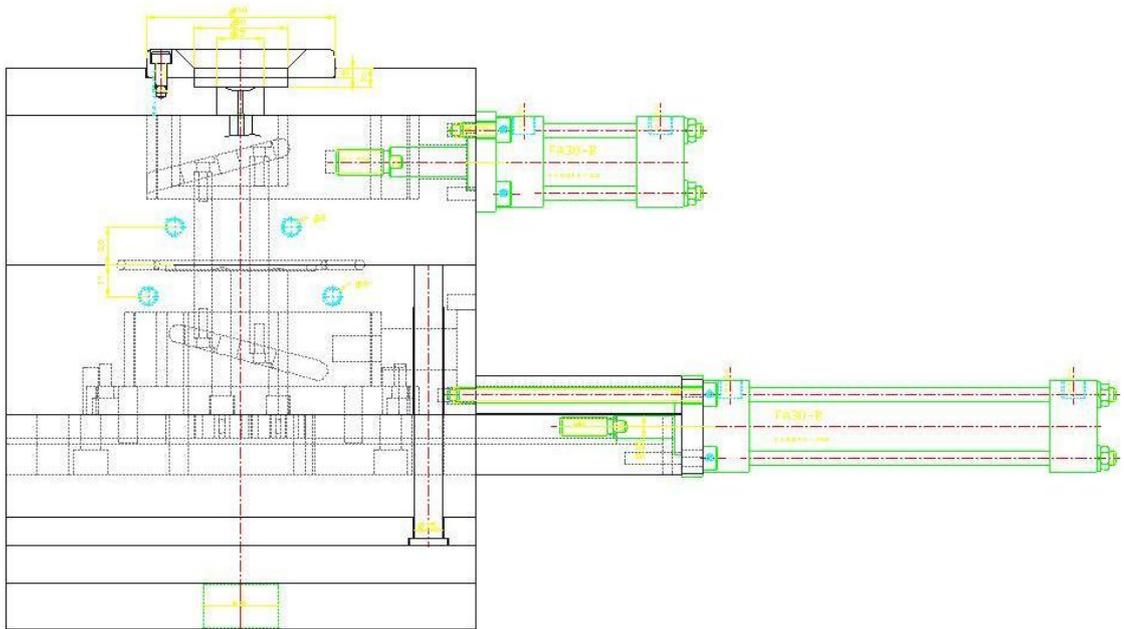


圖 4-12 模具側視圖

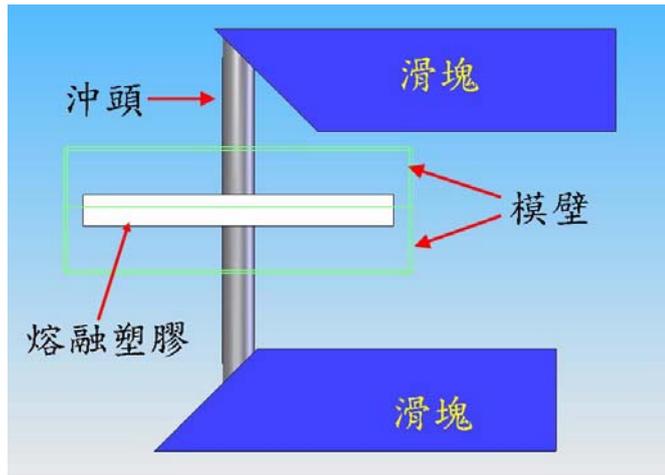


圖 4-13 模內沖孔機構動作示意圖 1

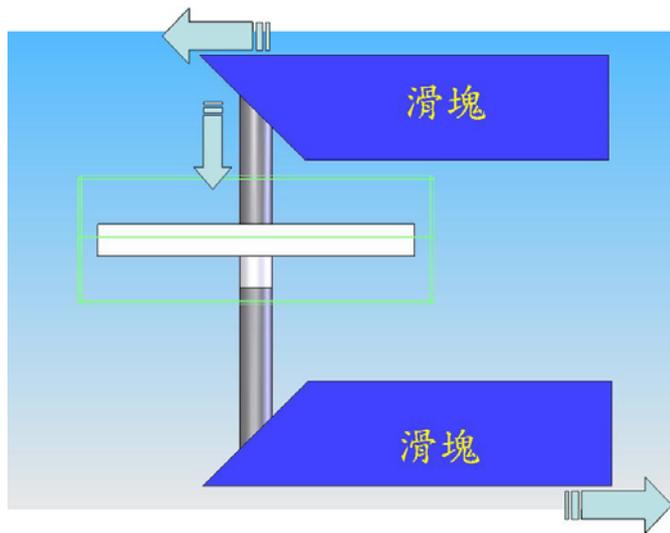


圖 4-14 模內沖孔機構動作示意圖 2

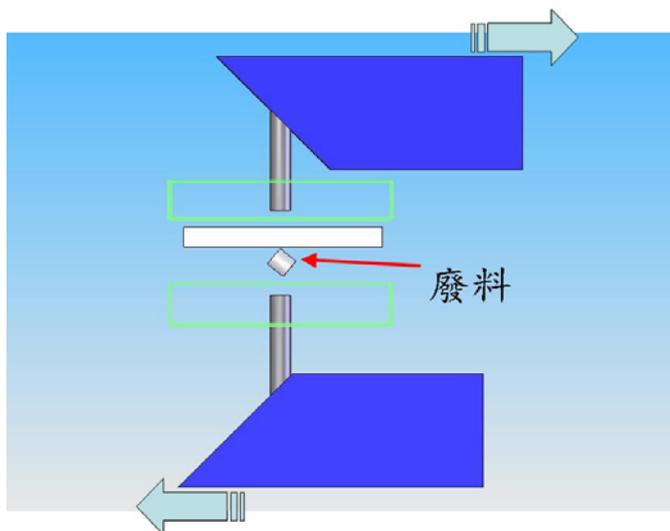


圖 4-15 模內沖孔機構動作示意圖 3

表 4-1 PMMA 基本性質

Properties	Value	Unit
Density	1,190	kg/m <sup>3</sup>
Coefficient of thermal expansion	6~6.5*10 <sup>-5</sup>	1/°C
Glass transition point	110~120	°C
Melting point	240~270	°C
Heat distortion temperature	68~99	°C
Molding shrinkages	0.2~0.8	%
Molding temperature	165~290	°C
Tensile strength	490~770	kg/cm <sup>2</sup>

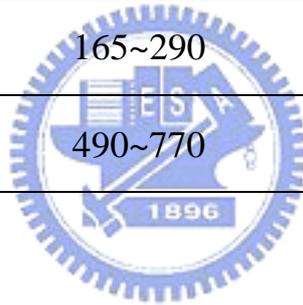


表 4-2 PC 基本性質

Properties	Value	Unit
Density	1,200	kg/m <sup>3</sup>
Specific heat	1,256	J/kg-°C
Coefficient of thermal expansion	3.8*10 <sup>-5</sup>	1/°C
Glass transition point	133	°C
Melting point	240	°C
Heat distortion temperature	39~148	°C
Molding shrinkages	0.4~0.7	%
Molding temperature	295	°C
Tensile strength	630	kg/cm <sup>2</sup>

表 4-3 ABS 基本性質

Properties	Value	Unit
Density	1,040	kg/m <sup>3</sup>
Coefficient of thermal expansion	7~12*10 <sup>-5</sup>	1/°C
Glass transition point	105	°C
Melting point	210~280	°C
Heat distortion temperature	66~107	°C
Molding shrinkages	0.3~0.8	%
Molding temperature	200~270	°C
Tensile strength	380	kg/cm <sup>2</sup>

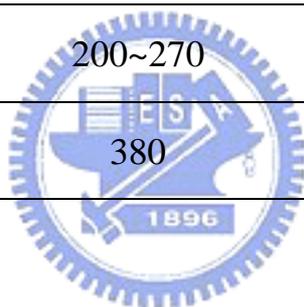


表 4-4 剪斷實驗之實驗條件

Material	ABS、PMMA、PC
Material thickness (mm)	3.0
The diameter of punch (mm)	10.0
The velocity of punch (mm/s)	75.0、150.0
The clearance between punch and die (mm)	0.02
Temperature (°C)	20、40、60、80
Material specification (mm <sup>2</sup> )	50 x 50

表 4-5 實驗材料射出成形條件

Material	ABS	PMMA	PC
Melt temperature ( °C )	250	250	320
Filling time ( s )	12		
Packing time 1 ( s )	2		
Packing time 2 ( s )	4		
Packing pressure 1 ( MPa )	20		
Packing pressure 2 ( MPa )	70		
Cooling time ( s )	10 、 15 、 20 、 25		
Punching pressure( kg/cm <sup>2</sup> )	95		
Punching velocity ( mm/s )	350 、 595		

## 第五章 實驗結果與討論

### 5-1 塑膠剪斷之結果

此部份的實驗，主要是針對塑膠試片的剪斷面與剪斷速度以及模具溫度之間的關係。藉此探討出在何種成形條件下，對於塑膠件的剪斷面會有較佳的結果。

#### 5-1-1 剪斷力之量測

塑膠材料在加熱後，其剪斷力會隨著溫度的上升而下降，且每種材料的趨勢不盡相同，圖 5-1～圖 5-3 為實驗材料的剪斷力-溫度圖。

#### 5-1-2 成形品剪斷面觀察

觀察剪斷面是利用冷場發射掃描式電子顯微鏡（Field Emission Scanning Electron Microscope）分別觀察在不同溫度下的成形品剪斷面。圖 5-4 為觀察方向示意圖。圖 5-5～圖 5-7 依序為 ABS、PMMA 及 PC 三種材料的 SEM 圖，放大倍率為 25 倍。其加工條件分別為（1）溫度 20°C、速度 75mm/s，（2）溫度 80°C、速度 75mm/s，（3）溫度 80°C、速度 150mm/s。

由圖可看出，三種材料的剪斷面在溫度較低或者剪斷速度越快時，其剪斷面的品質越好，也就是破斷面的比例越低，剪斷面越平滑、完整。

#### 5-1-2 成形品尺寸量測

在量測圓孔尺寸方面，使用電子式游標卡尺測量，精度為 0.01mm。量測方向為  $D_x$ 、 $D_y$ ，如圖 5-8 所示。再將所得到  $D_x$  與  $D_y$  取平均值得圓孔的

直徑，最後得出沖頭與圓孔的直徑尺寸差，如圖 5-9～圖 5-11 所示。

$$\text{沖頭與圓孔直徑尺寸差} = \frac{D_p - D}{D_p} \times 100\% \quad (5.1)$$

$D_p$ ：沖頭直徑尺寸 10mm

$D$ ：圓孔直徑尺寸

由圖 5-9～圖 5-11 可知，三種材料（ABS、PMMA、PC）的尺寸差要  
越小，其剪斷速度越快、溫度越低可達到較佳的結果。

## 5-2 模內沖孔實驗結果

以剪斷實驗所得到的結果作為基礎，實際將剪斷機構與射出成型模具  
做結合，進行模內沖孔製程，最後得出最適合的成形條件。圖 5-12 為實際  
模內沖孔成形品。成形條件如表 4-5。

### 5-2-1 沖壓力

塑料在沖孔階段時，模穴內的熔膠已有一層薄薄的固化層，但以成品  
整體而言還是處於熔融狀態，此時所需的沖壓力並不需要太大，只需能夠  
順利進行沖孔的動作即可，沖壓力量過大反而會增加破斷面的比例。

圖 5-13 與圖 5-14 為 PMMA 與 ABS 的成形品圖，而 PC 材料比其他兩  
種材料較硬，因此無法順利進行模內沖孔動作。如圖 5-15 所示。

### 5-2-2 成形品截面觀察

觀察沖壓截面是利用冷場發射掃描式電子顯微鏡（Field Emission

Scanning Electron Microscope) 分別觀察其截面，圖 5-16 為觀察方向示意圖。圖 5-17 為傳統射出成型品之截面 SEM 圖，圖 5-18~圖 5-21 為材料 ABS 在不同沖孔條件下的 SEM 圖。放大倍率為 25 倍。

對於 ABS 材料而言，由圖 5-19 與圖 5-21 比較可看出，當速度越快時，其截面越平滑；由圖 5-20 與圖 5-21 比較可知當冷卻時間越長，溫度越接近室溫，其截面越平滑、完整。其結果與塑膠剪斷實驗結果相符合。

### 5-2-3 成型品尺寸測量

量測成型品圓孔尺寸方面，利用游標卡尺量測，測量精度為 0.01mm，所量測的方向如圖 5-22 所示，包括流動方向 L 及垂直方向 W，成形收縮量及收縮率的計算方式如下所示：

$$\text{成形收縮量} = L - L_0 \quad (5.2)$$

$$\text{成形收縮率} = \frac{L - L_0}{L} \times 100\% \quad (5.3)$$

L：模穴尺寸

L<sub>0</sub>：成型品圓孔尺寸

圖 5-23 和圖 5-24 為材料 ABS 在不同成形條件下的流動方向 L 與垂直方向 W 收縮率與冷卻時間之關係，由圖上可看出，模內沖孔製程的 W 方向與 L 方向的收縮率差異不大，表示所加工出的孔洞較接近沖頭形狀，因此可知道利用模內沖孔製程所加工出的孔洞會比傳統射出成型製程較佳。

材料 PMMA 由於比 ABS 硬，導致在冷卻時間的掌握就很有限制，最

適合的條件在於 10s~15s 之間，若在此範圍之外的時間進行沖孔動作便無法順利進行。

### 5-3 結合線之改善

實驗結果可由圖 5-25 可觀察出，由於模內沖孔（In-mold punching）製程是利用先充填後沖孔的成形方式，因此所製作出的成形品並無結合線的缺陷，相較之下，由傳統射出成型的成形方法卻可明顯的看出有結合線的存在。因此模內沖孔製程確實可以改善結合線缺陷。由圖上觀察得知塑料在充填時，受到阻礙使得流動波前分離，當兩股塑料在交會時便會產生結合線。



### 5-4 模內沖孔與傳統射出成形品之比較

本實驗以電子式游標卡尺量測成形品 L 以及 W 之尺寸收縮率的變化，利用 SEM 電子顯微鏡觀察成形品孔洞之截面。分別探討沖壓壓力、沖壓速度以及冷卻時間對於成形品尺寸收縮率以及截面之影響。

#### 5-4-1 沖壓力

在模內沖孔製程與傳統射出成型的參數設定上，採用相同的模具溫度、塑料溫度、保壓壓力、保壓時間、射出壓力以及射出速度，不同的在於傳統射出成型沒有沖壓力以及沖壓速度等參數可調整，因此上述參數固定不變，只針對沖壓相關參數做改變，實驗參數如表 4-5 所示。

實驗結果如圖所示，在適當的沖壓壓力下可增加模穴內壓力的建立，

減少成形品的收縮。由於沖壓力量直接作用於塑料，對塑料來說具有壓縮的效果，塑料受到壓縮後分子間的結合更加緊密，有助於減少成形品的收縮。但是沖壓力的增加對於截面的完整性並無效果，對於截面而言，沖壓力量只需大過材料的剪斷強度即可。

#### 5-4-2 沖壓速度

從實驗結果可看出沖壓速度對於成形品截面有相當的影響，沖壓速度越快，成形品截面會越平滑越完整。

#### 5-4-3 冷卻時間

由實驗結果可知，在適當的冷卻時間進行沖孔動作，有助於減少成形品的收縮率，且收縮率可低於傳統射出成型，但在過長的冷卻時間下，因材料的不同，成形品已接近半固化的狀態，具有一定的強度，便無法進行沖孔反而增加了成形品的其他缺陷。

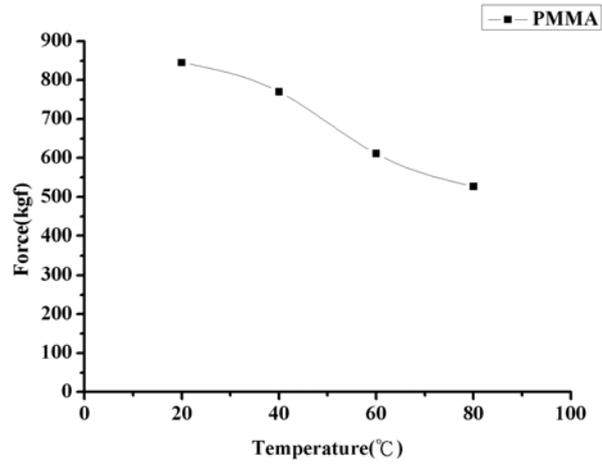


圖 5-1 PMMA 的剪斷力與溫度關係圖

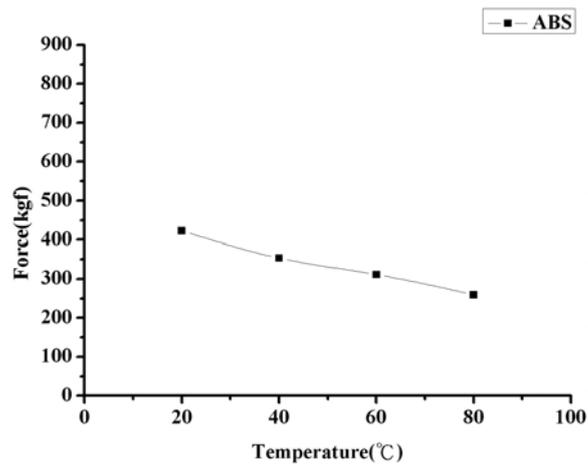


圖 5-2 ABS 的剪斷力與溫度關係圖

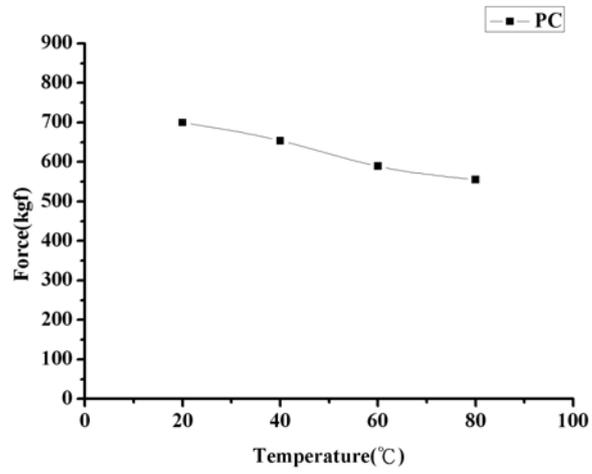


圖 5-3 PC 的剪斷力與溫度關係圖

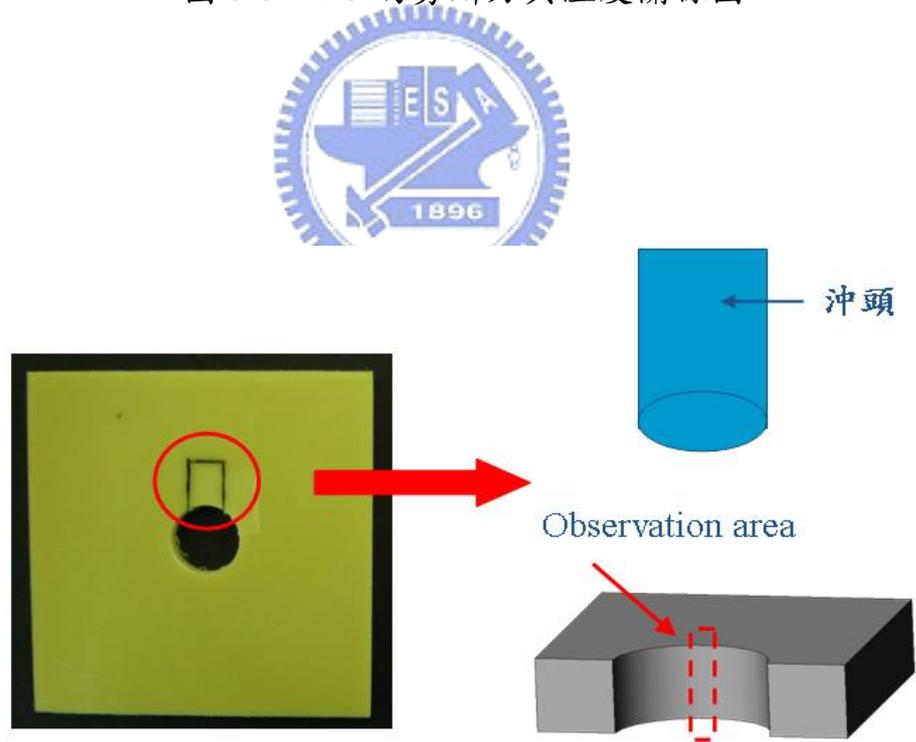
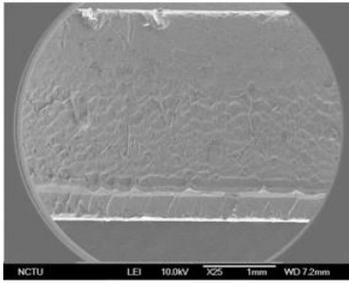
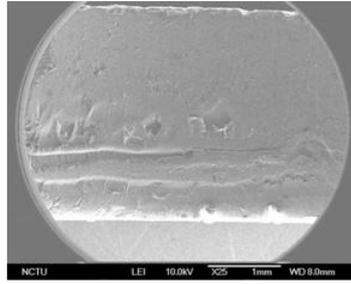


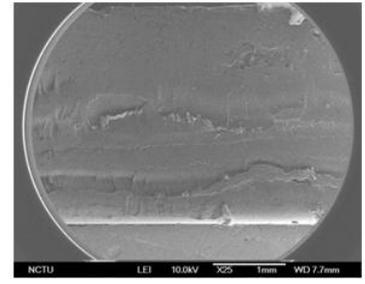
圖 5-4 剪斷實驗成形品剪斷面觀察示意圖



(a) 溫度20°C  
速度75mm/s

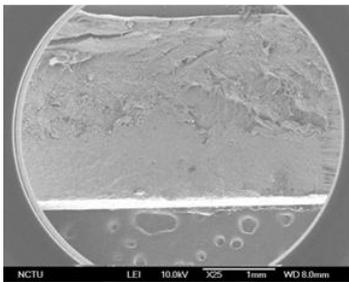


(b) 溫度80°C  
速度75mm/s

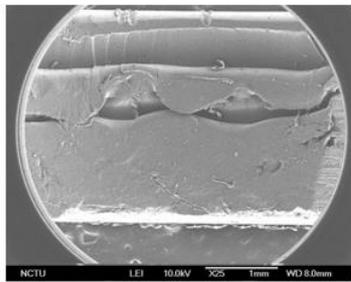


(c) 溫度80°C  
速度150mm/s

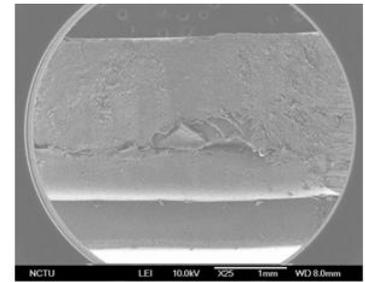
圖 5-5 ABS 在不同加工條件下的剪斷面 SEM 圖



(a) 溫度20°C  
速度75mm/s

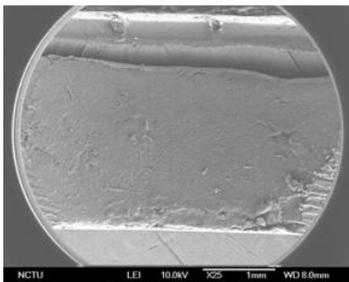


(b) 溫度80°C  
速度75mm/s

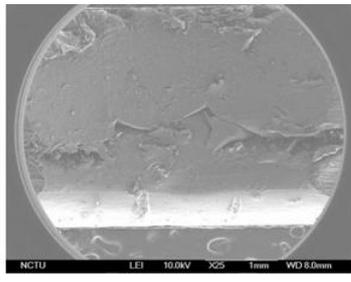


(c) 溫度80°C  
速度150mm/s

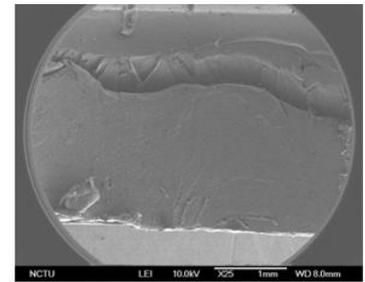
圖 5-6 PMMA 在不同加工條件下的剪斷面 SEM 圖



(a) 溫度20°C  
速度75mm/s



(b) 溫度80°C  
速度75mm/s



(c) 溫度80°C  
速度150mm/s

圖 5-7 PC 在不同加工條件下的剪斷面 SEM 圖

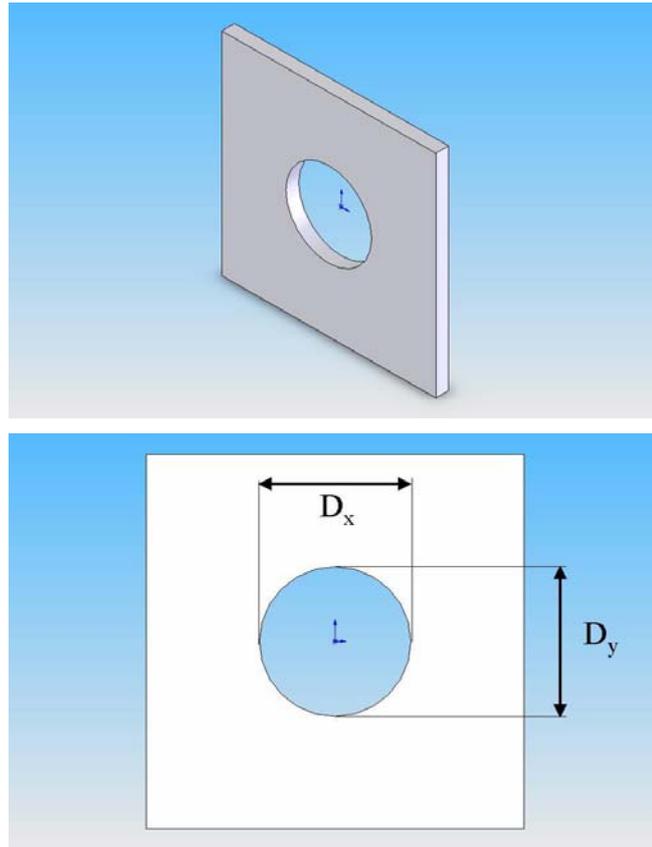


圖 5-8 塑膠試片量測位置示意圖

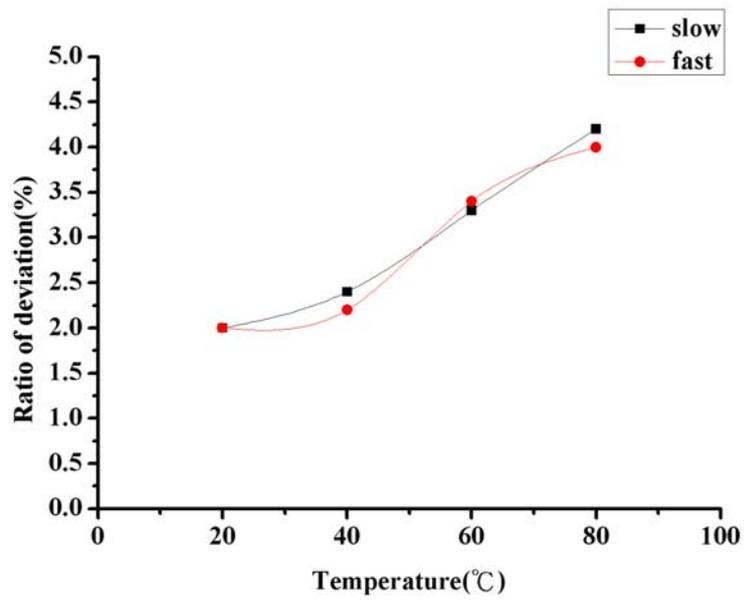


圖 5-9 沖頭與孔洞的直徑尺寸差圖 (材料為 PMMA)

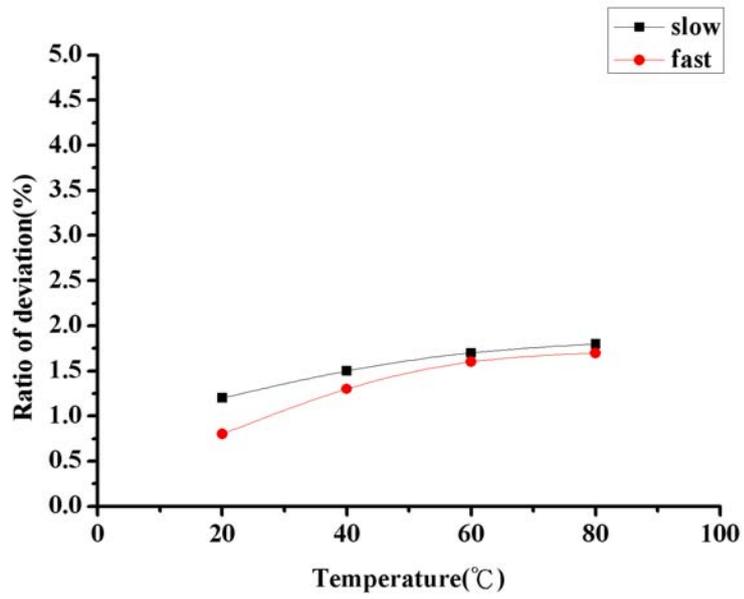


圖 5-10 沖頭與孔洞的直徑尺寸差圖 (材料為 ABS)

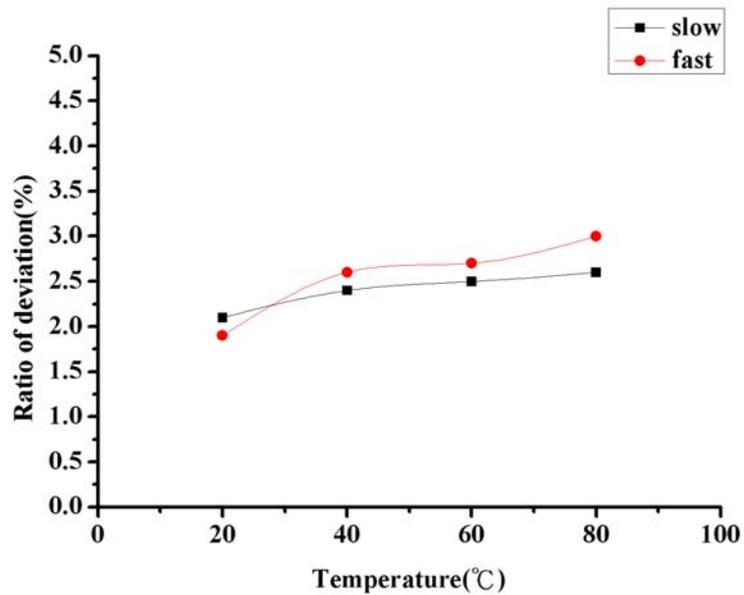


圖 5-11 沖頭與孔洞的直徑尺寸差圖 (材料為 PC)



圖 5-12 模內沖孔成形品



圖 5-13 模內沖孔成形品（材料為 PMMA）



圖 5-14 模內沖孔成形品（材料為 ABS）



模內沖孔製程失敗

圖 5-15 模內沖孔成形品（材料為 PC）

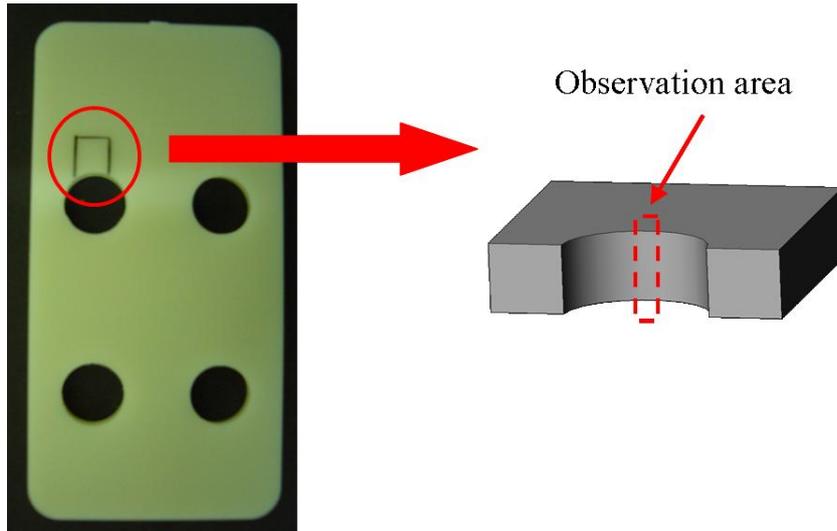


圖 5-16 模內沖孔成形品截面觀察示意圖

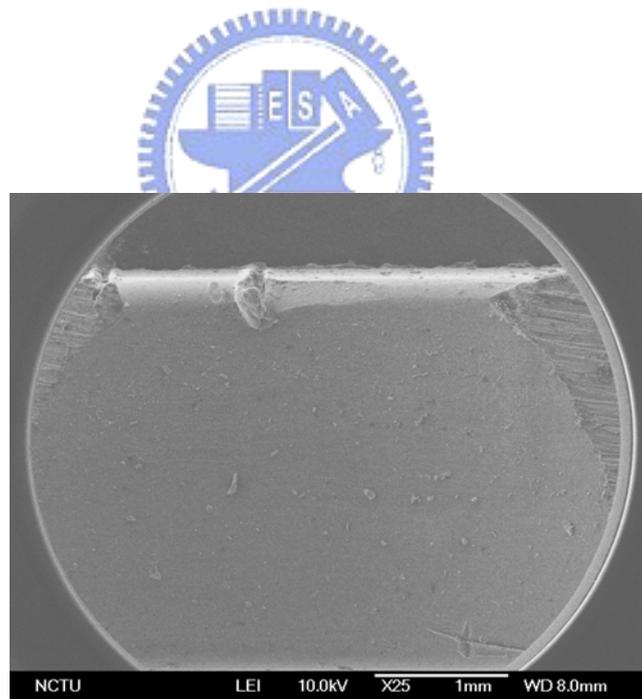


圖 5-17 ABS 截面 SEM 圖（傳統射出成形品）

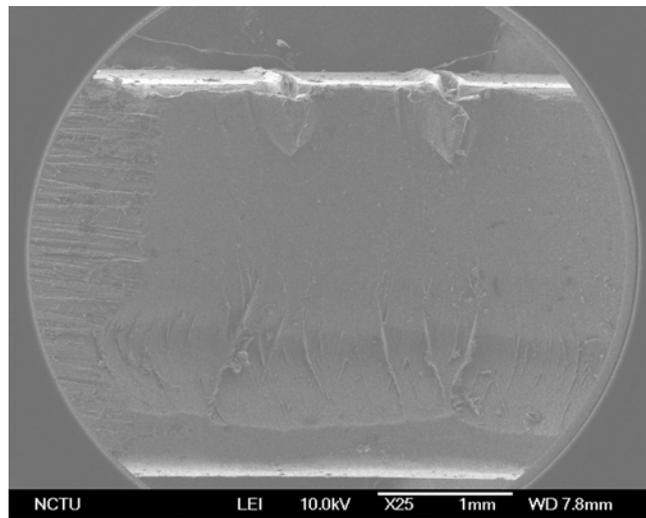


圖 5-18 ABS 截面SEM 圖(沖壓力  $95\text{kg}/\text{cm}^2$  沖壓速度  $350\text{mm}/\text{s}$  冷卻時間  $10\text{s}$ )

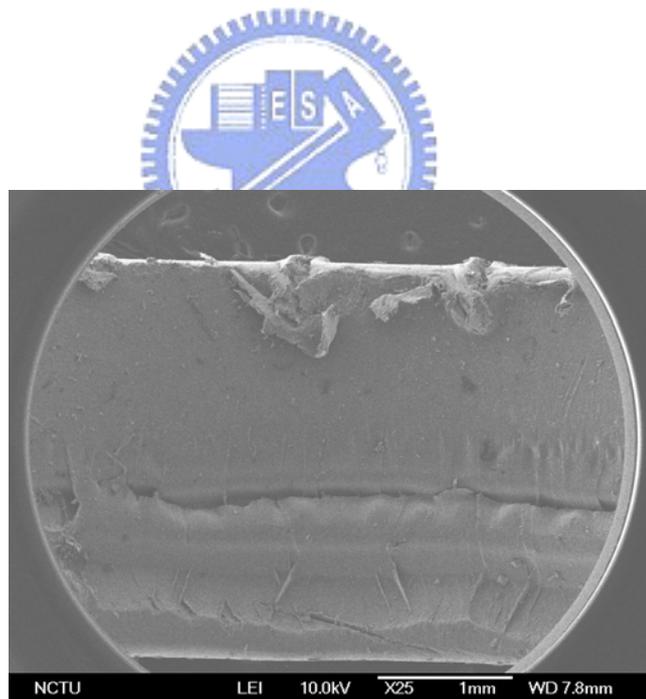


圖 5-19 ABS 截面SEM 圖(沖壓力  $95\text{kg}/\text{cm}^2$  沖壓速度  $350\text{mm}/\text{s}$  冷卻時間  $25\text{s}$ )

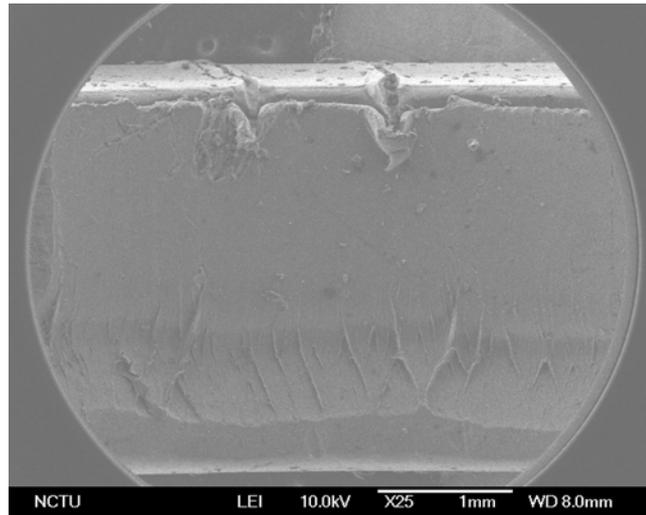


圖 5-20 ABS 截面SEM 圖(沖壓力  $95\text{kg/cm}^2$  沖壓速度  $595\text{mm/s}$  冷卻時間  $10\text{s}$ )

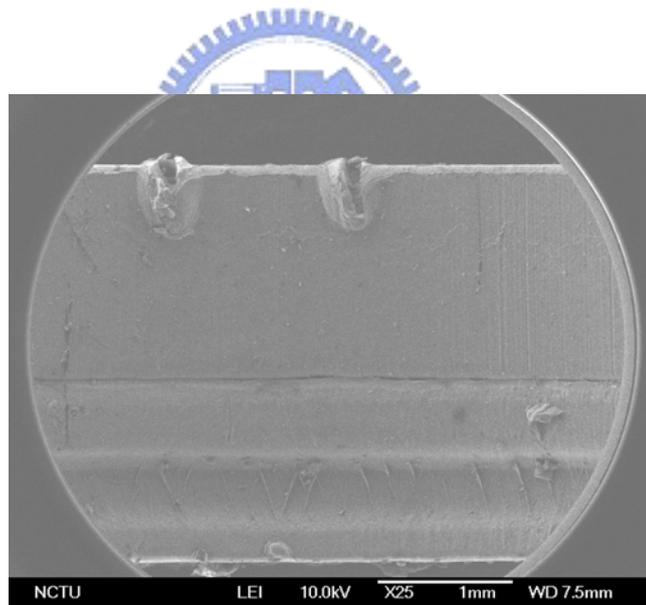


圖 5-21 ABS 截面SEM 圖(沖壓力  $95\text{kg/cm}^2$  沖壓速度  $595\text{mm/s}$  冷卻時間  $25\text{s}$ )

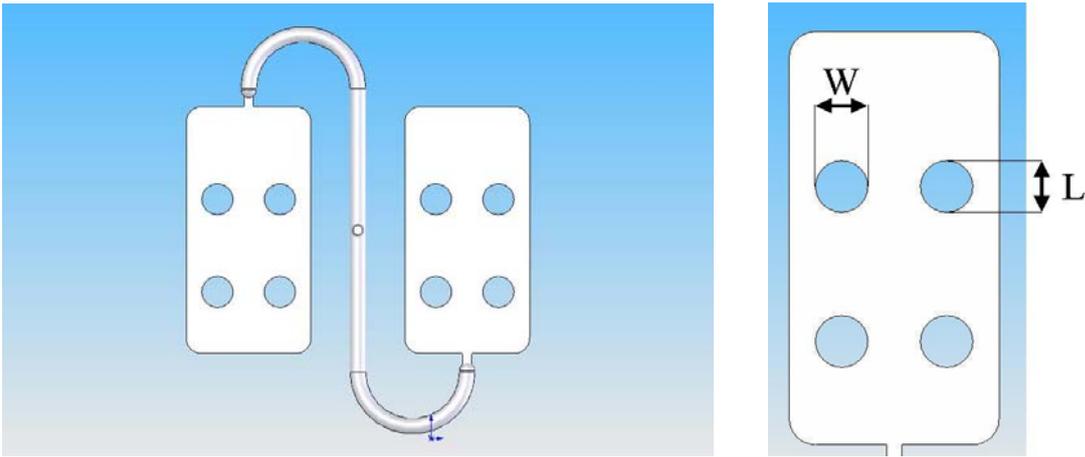


圖 5-22 模內沖孔試片量測位置示意圖

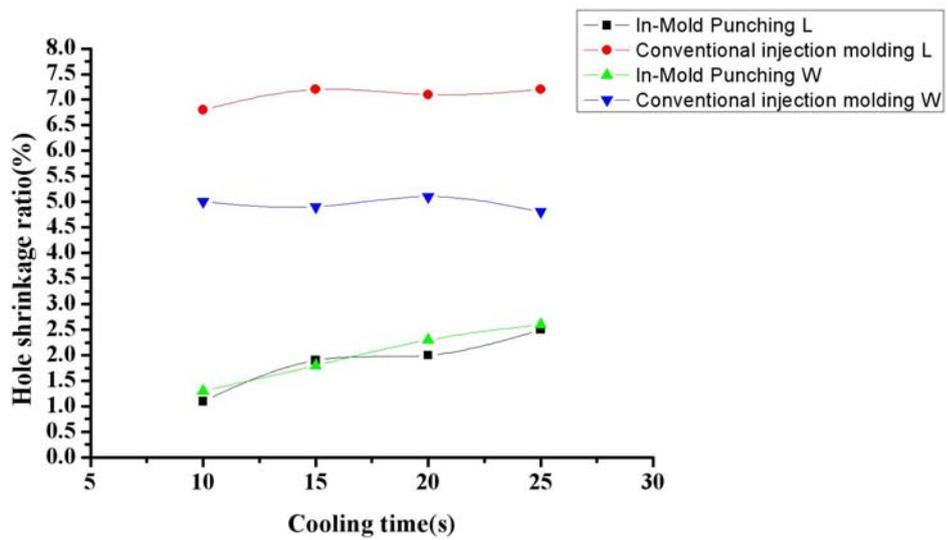


圖 5-23 ABS 模內沖孔成形品孔洞收縮率(沖壓壓力  $95\text{kg/cm}^2$  沖壓速度  $350\text{mm/s}$ )

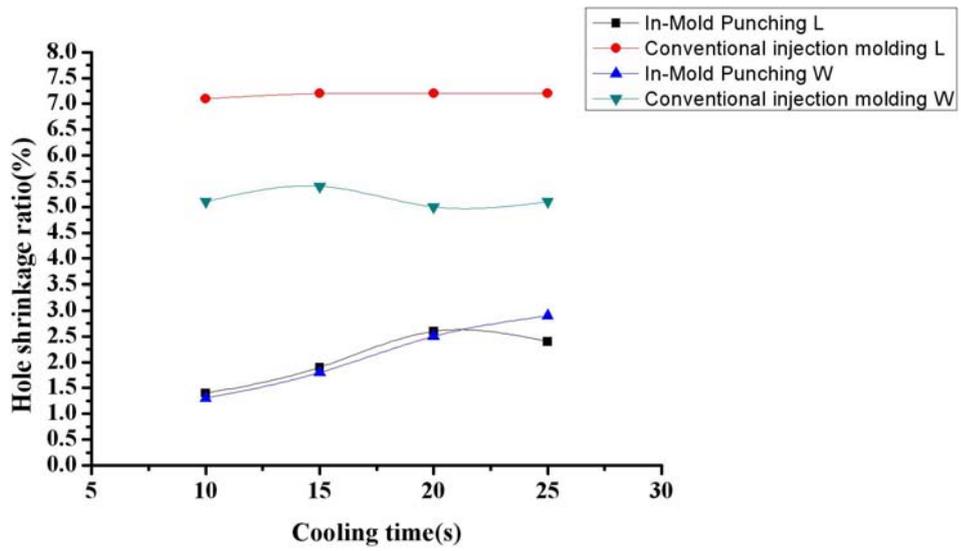


圖 5-24 ABS 模內沖孔成形品孔洞收縮率(沖壓壓力  $95\text{kg/cm}^2$  沖壓速度  $595\text{mm/s}$ )

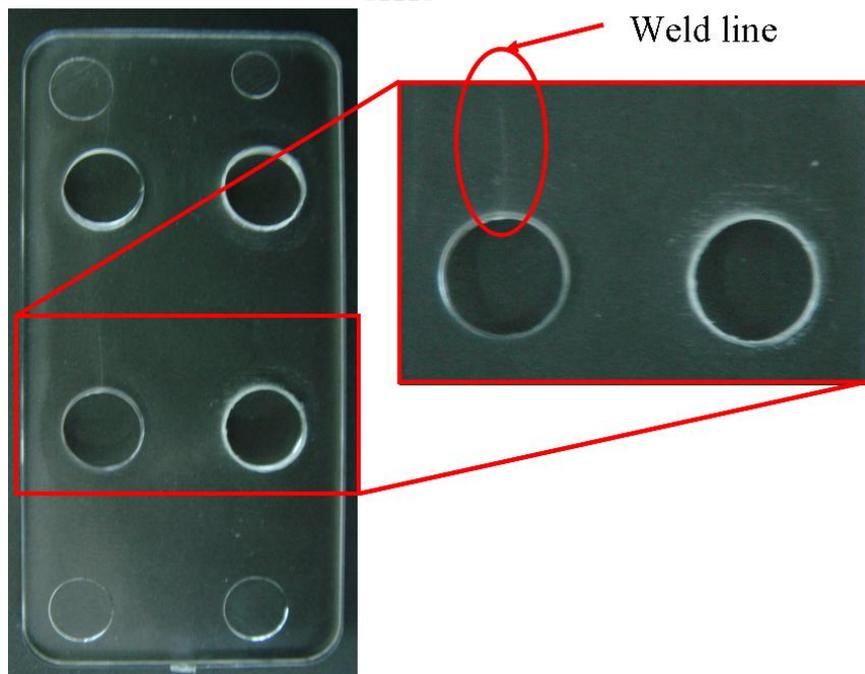


圖 5-25 模內沖孔與傳統射出有無結合線之缺陷

## 第六章 結論與未來展望

### 6-1 結論

本研究是利用模內沖孔製程來改善結合線缺陷，利用一外加的沖壓機構配合射出成型製程來進行，並將測試產品肉厚訂為 2.5mm，藉此探討出三種材料（PMMA、ABS、PC）在不同沖壓條件下的截面形狀與尺寸精度。經過剪斷實驗以及模內沖孔製程可歸納下列幾項結論：

1. 模內沖孔製程可應用於開孔塑膠件上，實際應用於量產製程時大多應用於 1.5mm 肉厚以下的產品，而本研究順利成形肉厚達 2.5mm 的開孔塑膠件，且在成形品上並無結合線的缺陷。
2. 塑膠具有熱脹冷縮之特性，在射出成型製程中，當塑膠熱膨脹係數與模具差異更大時，其成品冷卻而固化時，體積便會收縮，造成尺寸的差異，而模內沖孔製程利用沖壓的加工方式，對熔融塑膠施予壓力，有助於成形品之收縮，使得孔洞的形狀較接近沖頭形狀。
3. 在塑膠剪斷實驗可知，加工溫度越低、剪斷速度越快有助於減少沖頭尺寸與孔洞之間的尺寸差異。
4. 由模內沖孔實驗可知，對於材料 ABS 而言，其冷卻時間越短有助於減少成品之收縮，而對於其截面完整性，沖壓速度越快以及冷卻時間越長可使截面越平滑。
5. 對材料 PMMA 而言，由於材料較硬，所以其沖孔動作需在冷卻時間 10

~15s 中進行較為適合。

## 6-2 未來展望

1.實驗過程中，並沒有考慮到在模內沖孔過程，隨著冷卻時間越長，平板的溫度內外不均的問題，如果將此影響因素考慮進去，將會使得實驗更完整。

2.本研究僅針對平板圓孔塑膠件進行實驗，但實際產品應用上並不僅只於圓形孔洞，未來可朝不同形狀的孔洞進行研究，或者不同於平板的曲面進行探討。

