

## 第四章 射出成型條件的參數控制

### 4.1 引言

一般射出成型製程，主要可分充填(filling)、保壓(packing)及冷卻(cooling)三階段[1]，如圖(4.1)所示。當熔融的塑膠，由射嘴(nozzle)射出，經由澆道(sprue bushing)、流道(runner)、澆口(gate)注入，一直到充滿整個模穴，此過程稱為充填階段。當模穴被填滿後，澆口尚未凝固，再擠膠料進入模穴，以補償因冷卻收縮的量，一直到澆口凝固為止，此過程稱為保壓階段。當澆口凝固之後模穴內已無法再擠進熔膠，模穴內的熔膠溫度逐漸的冷卻而固化，此過程稱為冷卻階段。一般將保壓及冷卻過程稱為後充填階段，三階段中的模穴壓力會隨時間變化而產生改變。其射出成型製程過程與射出壓力、時間的變化關係[2]，如圖(4.2)所示。

目前塑膠產品的設計，因產品的幾何形狀越來越複雜，成型操作條件，已經無法用傳統經驗來判斷。本章將對射出成型的控制參數做一個探討，以便利用電腦的快速計算能力與電腦輔助工程分析軟體，尋求最優成型操作條件，才能提高產品的精密度和品質。一般塑膠射出成型加工條件[3]，如表(4.1)所示。

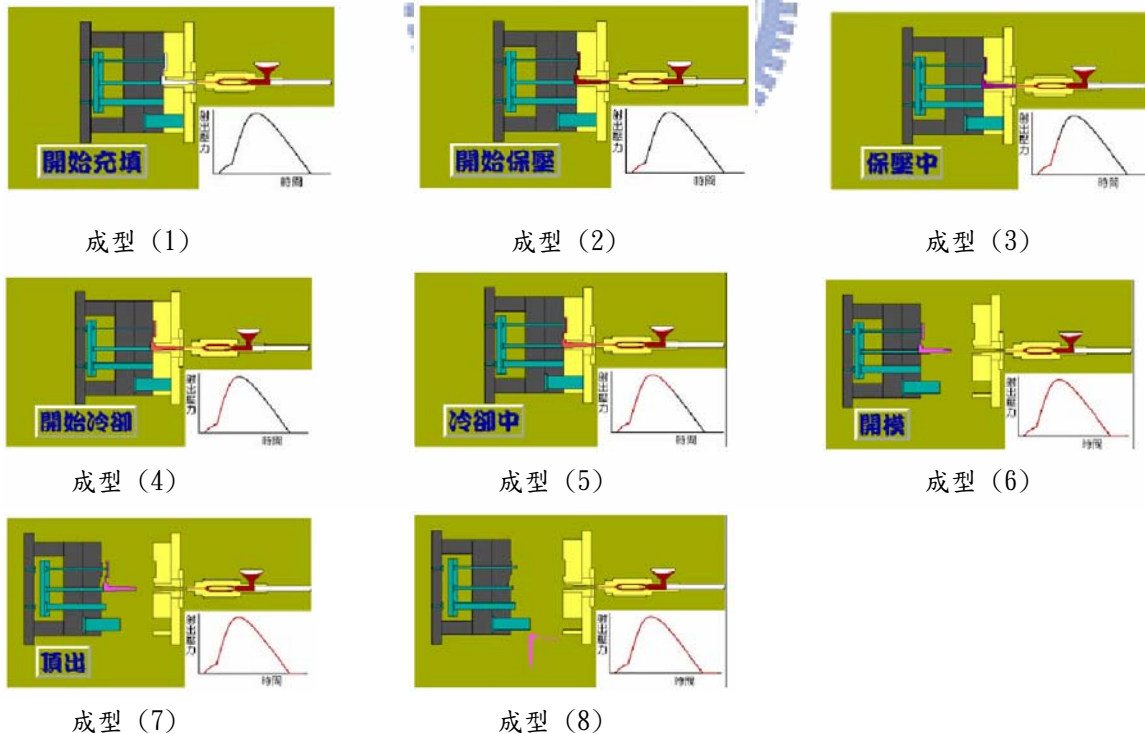


圖 4.1 塑膠射出成型流程[1]

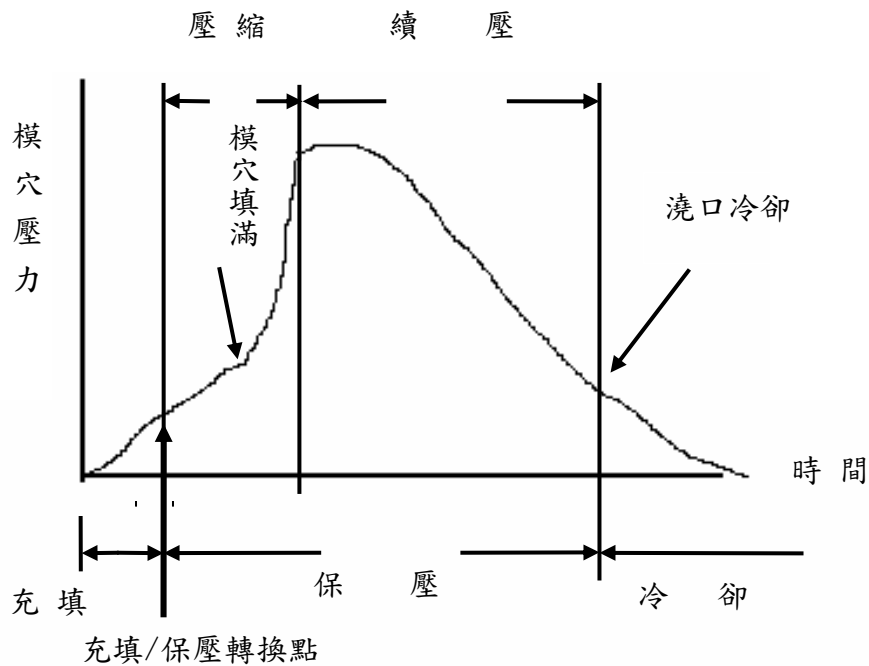


圖 4.2 射出成型製程過程與射出壓力、時間的變化關係[2]

表 4.1 射出成型加工條件[3]

No	成型內容	成型條件	No	成型內容	成型條件
1	加熱溫度	180~290°C	14	溫度設定	射嘴 203~295°C
2	模具溫度	50~80°C			前段 220~295°C
3	料管溫度	200~230°C			中段 210~290°C
4	噴出料溫度	200~240°C			後段 180~210°C
5	射出壓力	700~1500kg/cm <sup>2</sup>	15	模具溫度	10~80°C
6	最低操作溫度	260°C	16	保壓	30~60%
7	乾燥溫度	80~100°C/2~3 H (含水率 0.3%)	17	背壓	100~250kg/cm <sup>2</sup>
			18	密度	1.04~1.06g/cc
8	料管溫度	第一段 220~240°C	19	變形溫度	82~122°C
		第二段為 210~240°C	20	成型收縮率	0.4~0.8%
		第三段為 180~230°C	21	比重	1.0~1.2
		第四段為 150~180°C	22	線膨脹係數	0.00006~0.00013/°C
9	模具表面溫度	50~90°C	23	成型收縮率	0.3~0.8%
10	射出速度	30 ~ 100 mm / S	24	熱變形溫度	66~113°C
11	射出壓力	500~2100kg/cm <sup>2</sup>	25	成品拔模角度	2 ~ 5 度
12	螺桿轉速	70~150rpm	26	行程效率	0.8 ~ 0.95 %
13	射膠量	採用理論射膠量的 70% ~ 80%	27	機台大小	估機台料管總容量的 50-70%

## 4.2 成型的控制參數

成型控制參數影響成品的品質，但要如何掌握成型作業的控制參數，才能讓成品的品質符合客戶標準要求，且不需要用特別技術能力來進行作業，就可將成品順利成型。

由於射出成型條件的選擇，與實際現場認知上的不同，常見模流分析加工條件的錯誤設定，尤其是發生在設定充填時間；而實際現場的充填時間為射出機台的輸出值，其值除了包含充填所需的時間外，也可能包含保壓所需的時間；而模流分析的充填時間是輸入值，與保壓時間分別設定，若直接輸入射出機台輸出的充填時間，則會造成充填時間過長，而導致成品短射的問題；導致這個問題的主要原因在於，一般射出機台的設定為螺桿行程控制，而充填時間只是螺桿行程結束時的輸出值。一般塑膠射出成型加工影響品質的基本注意事項，有加工溫度、流動速度、體積收縮、冷卻速率、應力殘留、頂出溫度等。

射出成型操作條件的控制參數要因分析包括有：射出速度(或充填時間)、射出壓力、熔膠溫度、模具溫度、保壓壓力、及冷卻時間等，如表(4.2)所示。塑膠射出成型加工流程，其製程條件因素為：射出速度包括了充填速度、螺桿轉速、開關模速度、頂出速度等。射出壓力包括了充填壓力上限(一段壓)、保壓壓力(二段壓)、螺桿背壓等。射出溫度包括了料缸溫度、噴嘴溫度、模具溫度等。成型時間包括了充填時間、保壓時間、冷卻時間等。成型位置包括了進料位置、充填與保壓轉換位置、頂出量、殘留量等[4]；如表(4.3)所示。其參數詳細說明如下：

表 4.2 射出成型控制參數要因分析

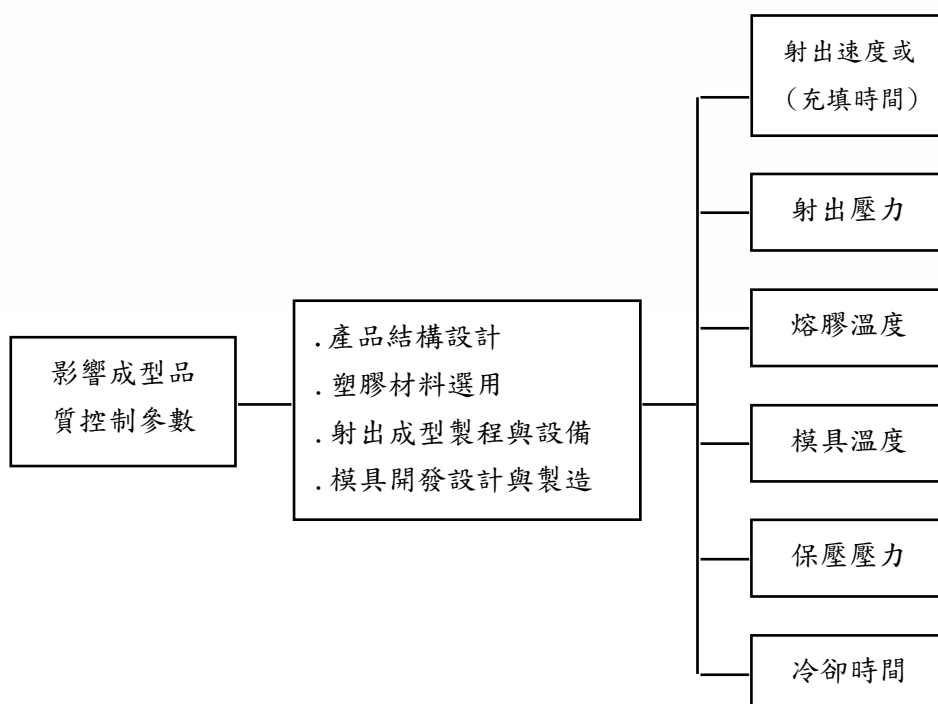
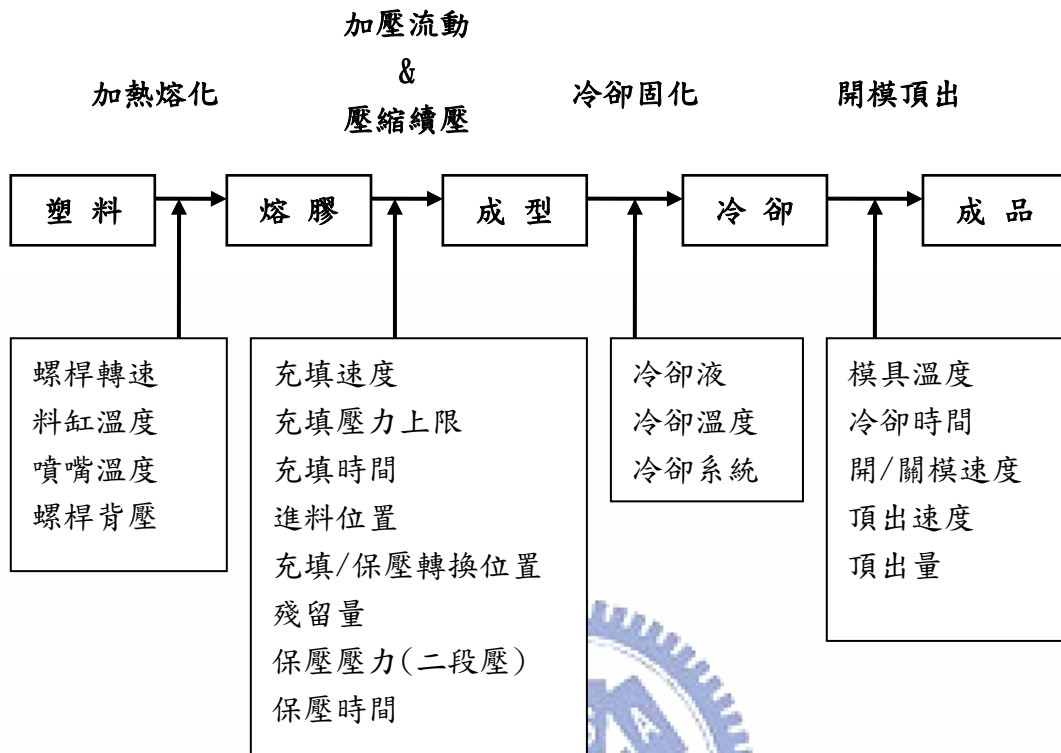


表 4.3 塑膠射出成型加工流程[4]



### (1) 充填時間與射出壓力

充填(Filling)過程，指的是高分子塑料熔融液化於電熱器熱能高溫中，射出螺桿前進將熔膠往前推進射出，熔膠自貯池流經噴嘴注入口、澆道、澆口而進入模穴，完成充填程序；而射出速度一般地，儘可能地快速來填滿模穴是最好的；因為這樣才可以使纖維配向性降到最低，而且有較優的熔接線一致性。

塑料填模的過程中，在射出機的動作上，射出機射嘴開啟，處於鬆退狀態螺桿向前推進，將位於儲料區已塑化完畢，而呈現熔膠狀態的塑料射進模穴中；對於單模穴模具，塑料熔膠通常透過注道，由澆口填入模穴中；對於多模穴模具需利用流道系統，將塑料分配到各模穴中，通常螺桿依設定的行程曲線，以及射壓曲線前進，由於塑料黏度甚高，因此加工溫度需高於熔點，其射壓(指射嘴處壓力)會高達 150~250 MPa。

充填時間短則 0.2~1 秒，長則 5~10 秒，要視模穴數目及模具大小而定，在充填過程中，由於模穴尚未填滿，塑料前緣為大氣壓狀態(或是抽真空)；在正常充填過程下，若射壓夠高，塑料將以設定的流量曲(或是螺桿行程曲線)順利填模，此階段稱為流率控制階段。但隨著充填範圍增加，塑料填模的流動阻力將逐漸增加，反映出來的就是模穴壓力的增加；模穴壓力是一種背壓，是塑料流動阻力的表徵；模穴壓上升越快，代表流

動阻力越大；塑料在充填過程中需能克服流動阻力迅速填滿模穴，否則若射壓不足，射速不夠，流動就會停止造成短射。在模穴將填滿時，模穴壓會發生上昇的現象，此時已經難以流率控制螺桿前進。一般會將操作切換至壓力控制階段，而操作過程也切換至保壓階段。

射出壓力(Injection Pressure)，指塑料充填到模具裡所設定的最大壓力，射出壓力是指在螺桿前端的塑料壓力，他是由油壓缸所產生的壓力作用，在射出桿上所型成的壓力，射出壓力一開始應設定低的射出壓力，以填充零件至剛好不會造成毛邊為最優的選擇。由整個加工觀點來看，因操作方便且機器較穩定，可節省許多加工能源，故選擇射出成型操作條件，射出壓力的安排，應用最低壓為最優的生產條件。除防止最終成品的毛邊產生，也可預防成品的外型、尺度收縮等問題。

充填時間與射出壓力關係密切，若充填時間短，其射出速度會加快，需要很高射出壓力，是屬於黏性流動控制域；但充填時間太短，可能造成產品短射或縮水現象，而射速時間太快，也可能造成黏模現象且不易脫模；如果充填時間很長，但射速很慢，是屬於熱控制區域；假如射出時間太長，則會影響成型週期較不經濟；如果射速太慢時，其成品可能不完整或表面不光澤，而其接合線位置強度會越差。射出成型操作條件的選擇，由加工觀點來看，最低壓為最好；因為可節省能源而且機器較穩定，以防止最後成品因成型後的收縮、變形等問題。

## (2) 熔料溫度與模具溫度(Melt and Mold Temperature)

塑料對溫度壓力十分敏感，從熔膠保壓、冷卻直到室溫，期間經過熔點、玻璃轉折溫度、分子結構、機械特性、光學性質、比容及壓力等均隨著變化，收縮量因此決定；而塑膠材料的熱傳導率相較金屬相當低(約只 1/250)，溫度梯度在模具接觸面甚大，而保壓壓力過大或不足，都極易產生殘留應力。所以，為了生產精確的成品，需要注意保壓壓力，及冷卻系統，精確成型的關鍵步驟不在充填階段，而在後充填。也就是熔膠在後充填階段所受之壓力與溫度，決定成型品質及尺寸精度。

一般塑料熔膠溫度為 220~250 °C 以上，樹脂的平均比熱 0.33 kcal/kg°C，相關塑膠材料參數為：流道位置、塑膠種類、充填時間、熔膠溫度、模具溫度等。而塑膠特性參數為：黏度(Viscosity)、壓力/體積/溫度(PVT(PVT Relationship))、比熱(Heat Capacity)、熱傳導係數(Thermal Conduction)。

溫度的設定，主要包含了熔膠溫度、模具溫度與頂出溫度等。熔膠溫度的設定主要會影響產品加工性的難易，若熔膠溫度過低則塑料黏度較高，成品較難加工而容易發生短射。模具溫度的設定主要會影響模溫分佈與塑料熱傳行為，若模具溫度過低則塑料較易提早冷卻凝結，進而引起成品短射。頂出溫度的設定主要會影響冷卻過程，若頂出溫

度過低，則所需要的冷卻時間較長，影響產品所需的成型週期時間。設定射出機台後，可知道產品所需的成型條件，是否已超出射出機台的限制。

通常熔料溫度太高或模溫越高，則成品內的殘餘流動應力會降低，因為有更多時間可讓流動應力鬆弛掉；但相反的，熱應力則會增加。此外，熔料溫度太高則會有黏膜、燒焦等現象；而模溫太高，則浪費能源。若模溫不平均，會造成產品不均匀冷卻，則最後成型品會因不均匀的收縮，而產生翹曲、變形，也會造成射出成型品，其接合線強度變弱，而產品的表面產生不光澤與少許波紋等現象。模溫一般採用冷模(如 50~60°C)，一般而言脫模時其公、母模之溫差越少越好(一般溫差不可超過 5°C 以上)，脫模後才不易變形，不良率就會降低很多，許可的冷卻管路安排即以達此結果為目標；模具溫度高，其成型尺寸收縮會增大。

在射出成型的充填及保壓過程中，熔融的膠料藉由高壓擠入模穴內，但待澆口凝固後的冷卻過程中，模穴壓力已無法再進行控制，因此影響模穴內的比容變化，可說是取決於模穴內的溫度；而溫度控制除熔膠溫度之外，最主要是模內溫度，由於射出成型是週期性生產，熱量經熔膠充填時定期輸入，這些熱量需經由模具內，所配置的溫度控制系統，利用循環液以熱傳導及熱對流的方式將熱帶走，否則模穴表面溫度會越來越高，而射出模具基本上也是複雜形狀的熱交換器，而溫度控制系統的配置方式及模仁材料，在模具的熱交換過程中扮演重要的角色。

在熔料溫度與模具溫度的關係密切，通常熔料溫度太高或模溫越高，成品內的殘餘流動應力會降低，因而有更多時間可讓流動應力鬆弛掉；但相反的，熱應力則會增加。此外，熔料溫度太高則會有黏膜，燒焦等現象。而模溫太高，則浪費能源，模溫不平均，造成產品不均匀冷卻，最後成型品會因不均匀的收縮，而產生翹曲、變形；也會造成射出成型品其接合線強度變弱，而產品的表面產生不光澤與少許波紋等現象。

### (3) 保壓壓力與保壓時間

在充填過程完畢時，高分子熔膠已完全填滿模穴狀態下，繼續保持高壓狀態，以補充因冷卻而造成之塑料體積收縮，充填不足之塑料，以確保模穴完全填滿。保壓過程，是以二次高壓來補償塑料的可壓縮性，以及固化收縮所減少的體積，以避免成品產生凹陷及變形；最適當的結果是整體成品各處都有均勻的收縮值。在流動過程(射出充填)是成型最基本的階段，塑膠在高溫高壓下受推擠，以高速度沿噴嘴注入模具內，流動的過程，是塑料質量的流動，伴隨力量(動量)與熱量的傳遞，而可以物理科學來做計算。

以不同的保壓行程，會造成不同的體積收縮率，所以保壓並不是愈大愈好，保壓不一體積收縮率會很大，容易產生凹陷及縮減尺寸，但過大保壓卻也易造成毛邊，以及形成產品翹曲、變形的問題。保壓結果，最重要的數據是保壓壓力分佈，持續的有效時間

以及根據 P-V-T 數據所算出的體積收縮率。其相關保壓時間參數為：最大射出壓力、最大保壓壓力、鎖模力(背壓)、保壓流動、保壓壓力，平均溫度(保壓完後溫度)，靜置等。

若保壓壓力太高或保壓時間太長，則產品容易產生毛邊且有較高殘餘應力；而保壓壓力太低或保壓時間太短，則產品容易發生收縮等現象，以上這些問題將會影響到產品的品質優劣。

#### (4) 冷卻時間與成型週期(Cooling)

在射出成型作業中，冷卻過程費時最多，約佔整個循環過程時間之 70 %~ 80 %，因此冷卻系統設計之好、壞，將直接影響到成品之品質及其尺寸精確度；因設計良好的冷卻系統將可縮短熔膠固化所需之時間，能有效的增加生產速率，降低生產成本，並可使成型品各部位均勻的被冷卻下來，可防止產品因熱應力所造成之收縮、扭曲、變形等不利因素發生；故射出成型品能持續的被冷卻，在成型固化後，利用模具的頂出裝置，可順利將成品退出模穴。

冷卻系統設計方針為，若為迅速冷卻的過程，由於冷卻過程佔了整個產品生產週期大部份時間，如果冷卻系統能使產品快速的冷卻，將可提高生產量；若為均勻冷卻的過程，如果成品在冷卻過程中有不平衡冷卻發生時，將會使成品產生熱應力，導致其收縮翹曲變形發生，因此均勻冷卻將能使成品降低其熱應力，而減少收縮、翹曲的發生。

影響冷卻時間的因素為：成型品厚度、成型品形狀、熔膠性質、射出溫度及脫模溫度、模具材料、冷卻管之(數目、位置及大小)、冷卻液的性質、冷卻流量及溫度等。而冷卻系統設計的要點，需要計算管路與模具、熱塑料間的熱傳現象，其相關冷卻時間參數為：塑料設計、水路設計(配置)、塑料選擇、水路直徑、模材選用、冷卻液(水)、開模方式、模溫分佈等。

冷卻系統設計要求：模具冷卻系統一般以冷卻液的種類、與搭配的冷卻水管為主，模仁材料為輔，以達到最優冷卻效率為基本要求目標；因此冷卻系統設計需要考慮的設計原則為：冷卻系統設計目標為快速、均勻的收縮，其要項有與保壓系統配合，以達所要求之精度；在週期內將射入之熔膠熱量帶走，冷卻系統設計使用工具為：冷卻水路(道)數目配置(3D)、冷卻水道尺寸、其他導熱、對流元件。冷卻系統設計程序為：決定冷卻時間、計算冷卻液流量、算水管直徑、配置水管、決定壓力降等。

冷卻時間與成型週期為製程相當的重要的關係，若冷卻時間太長，會影響到成型週期，並且降低生產力；但冷卻時間太短，將會造成射出成品發生黏模的現象且不易脫模；假如成品未完全冷卻固化便脫模，則產品容易受外力影響而造成變形。

### 4.3 本章結語

射出成型條件的選擇，關係整個射出成型製程作業，是非常重要的關鍵因素，但常見製程條件的錯誤選擇，導致成品發生縮水、凹陷、毛邊、變形、短射等問題。引起這些問題的主要原因，在於射出成型製程的設定不良，無法將成品的品質標準要求，被量產、製造出來。

射出成型操作條件的選擇，由製程加工觀點與產品翹曲、變形的品質要求來看，以射出壓力最低壓與翹曲、變形量尺寸愈小為最好的選擇，除可避免上述問題外，機器操作也較穩定順暢，可節省射出成型加工機能源的消耗，是影響生產成本最大因素；要如何將製程條件安排到最優，把成品的產量做到最大，為目前業者與技術人員的一大挑戰。

