

立式直壓射出成型機鎖模力設定技術與應用

A clamping force setting method for hydraulic-driven vertical injection molding machines and its application.

陳建羽¹、楊凱傑²、黃明賢^{2*}、秦進傳³、宋昱廷³

¹逢甲大學精密系統設計學士學位學程

²國立高雄科技大學機械與自動化工程學系

³百塑企業股份有限公司

*E-mail: mshuang@nkust.edu.tw

摘要

射出成型工藝是相當成熟量產技術，更為塑膠產品重要暨受歡迎的量產方式之一。近年來工業 4.0 蔚為風潮，機械產業技術發展方向以提升設備之智慧程度為主要目標。在射出成型過程，鎖模力為重要暨關鍵的成型參數之一，其主要目的為確保生產所用模具可在適當鎖模力設定條件下運作，並避免過度撐模效應或模具壓縮所致毛邊或排氣等不良因素發生。射出成型機鎖模機構可區分為曲肘式(肘節式)及直壓式兩種類型，然而針對立式直壓鎖模力量測技術與應用甚少著墨，為此，本文主要目的在於針對立式直壓機台以發展適當鎖模力設定之智慧技術。由實驗結果可以發現，應用大柱應變感測器除可獲悉機台實際鎖模力值以校正機台鎖模力規格以外，本文更成功發展一套智慧化適當鎖模力設定搜尋方法並初步透過實驗驗證其可行性，此方法相較以往可依據不同模具更加快速及便利地搜尋適當鎖模力設定範圍，並在生產過程持續監測鎖模力以主動修正鎖模力異常狀態，以達致智慧生產境界。

關鍵字：立式直壓射出成型機、毛邊、射出成型、鎖模力增量

Abstract

Injection molding is a well developed technology for mass production, which is important and popular for plastics manufacture. Recently, due to the trend of Industrie 4.0, the main target for machineries is to develop intelligent technologies for equipment. For injection molding, clamping force is important and crucial for injection molding quality. The main purpose for clamping force is to assure a proper implement of injection tool under appropriate clamping force setting and prevent issues such as poor air venting or flash under too large or too low clamping force set, respectively. In general, clamping unit could be divided into two types, namely toggle- and hydraulic-clamping mechanism. However, there are [little literatures](#)~~poor literatures~~ discussed about measuring technology and its application for hydraulic-driven vertical injection molding machines. The motivation in this study is to develop an intelligent search method for appropriate clamping force setting. From experimental results, tie-bar strain sensor is not only applied to detect actual clamping force during injection molding to adjust the specification of clamping unit on the injection molding machine, but also to successfully develop an intelligent search method, which is verified experimentally, for an appropriate clamping force according to different injection tools. The search method revealed in this work is prompt and more convenient compared to those developed in past. Moreover, the method also could monitor the status of clamping in mass production and actively adjust in order to approach intelligent manufacturing.

Keywords: hydraulic-driven vertical injection molding machines, flash, injection molding, clamping force increment.

壹、前言

射出成型工藝發展已超過百年歷史，其為塑膠產品重要暨受歡迎量產方式之一。近年來工業 4.0 蔚為風潮，國內機械產業技術發展方向基本上以提升設備智慧化程度為目標，如圖 1 表示，就智慧射出成型技術而言，在設備生產過程，在機台內/外部及模具等結構安裝感測器以收集射出成型歷程相關物理訊息，並萃取感測曲線特徵以分析機台運行狀態及其與射出成型品質間之相關性，進而基於上述資訊特徵辨識與分析後透過智慧演算法則以監控機台運行狀態及生產品質狀態並自我修正機台參數，以進行品質補償或參數優化學習，使單機生產更具智慧程度；此外，所有生產訊息可整合雲端技術以發展具特色之智慧製造執行系統 (Intelligent manufacturing execution system, iMES)，使產品從接單、備料、生產、檢測及出貨等一系列過程透過生產流水線各設備之感測器主動收集並監控與紀錄產品製造過程所產生資料，除建立生產履歷供使用者參閱以外，更可使生產者與買方更輕易了解各階段生產狀態以掌握產品交期，使生產更具彈性化及客製化。

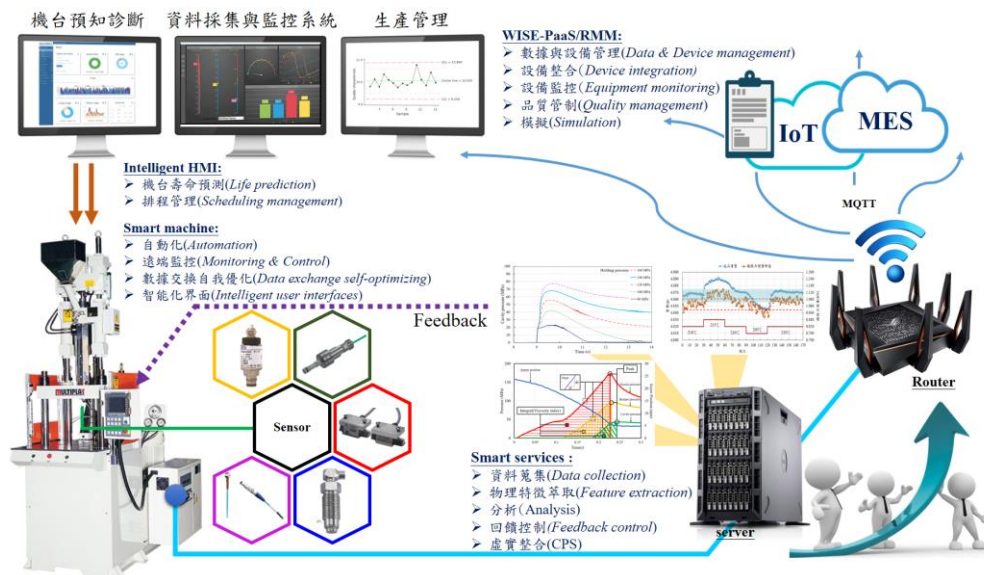


圖 1：射出成型工業 4.0 智慧化生產目標示意圖

射出成型過程可大致區分四個階段，分別為：充填、壓縮、保壓、冷卻，其中熔膠在模穴充填流動過程會對模穴產生甚大壓力，為確保模具在熔膠充填及保壓過程可適度閉合並避免過度撐模效應，適當鎖模力設定甚為重要。不同鎖模力設定之撐模狀態與潛在生產缺陷如圖 2 所示，在 S1 狀態下，因模穴壓力過大或鎖模力設定過小而造成模具過度撐模，熔膠溢出分模面並產生毛邊；在 S2 狀態下，在適當鎖模力設定條件下與適度射出壓力影響後，模具僅呈現適度撐模但不至於產生毛邊；在 S3 狀態下，鎖模力設定過大，使模具過度壓縮，在此情況模具在熔膠充填過程並未產生分離，且可能因排氣不良使成品產生短射或充填末端黃化/焦痕之風險[1]。為避免模具過度撐模，傳統鎖模力設定方法有兩種，其一是將鎖模力設定至機台最大規格以避免產品產生毛邊，然而過大鎖模力設定造成機器多餘能量消耗，也會造成模具因排氣不良，更對模具與機台之壽命產生威脅；另一種設定方式是利用模穴投影面積乘以模穴壓力以大致估算鎖模力設定範圍，但此方法忽略非對稱充填形式對模穴充填壓力分佈不均之問題，在不均勻撐模情況下會使成品厚度不一並導致模具變形及縮短壽命，故如何在生產之初快速尋找適當鎖模力設定範圍至關重要。

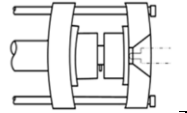
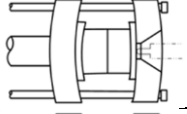
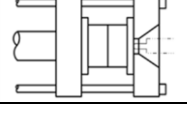
	<ul style="list-style-type: none"> ● Significant mold separation ● Too-low clamping force setting ● Possible flash defect
	<ul style="list-style-type: none"> ● Slight mold separation
	<ul style="list-style-type: none"> ● Mold compression ● High clamping force setting ● Possible venting problem

圖 2：模具分離狀態(S1：上，S2：中，S3：下)[1]

在熔膠充填階段，因其黏度受到外在環境之溫度、壓力及剪切應力影響，故熔膠在模穴充填過程壓力會不斷地變化，並於接近滿模過程因熔膠壓縮行為致使模穴壓力瞬間增加，特別是薄件成型所需高射壓及高射速對模具撐模現象更為明顯。就射出成型參數對熔膠品質影響性，Chen 和楊等人[2-4]利用射嘴壓力感測器與模穴壓力感測器以發展線上熔膠品質監測方法，並提到射出速度、料管溫度與模具溫度會影響熔膠品質，而熔膠品質會反應在射嘴與模穴壓力大小變化。Huang[5]與陳[6]透過模穴壓力訊息解析成型參數與成品重量之相關性，而透過模穴壓力訊號與灰預測方法可成功進行 V/P 切換控制。Min[7]、Kamal[8]、Speranza[9]透過模穴壓力感測器量測模穴壓力為基礎，探討製程參數變化對塑件重量或厚度進行品質監測並發展品質控制法則，驗證模穴壓力對成型品質有強相關性。Chen 等人[10]使用位移感測器量測模具撐模量與成品重量成正比關係，並導入自適應控制方法進行射出與保壓切換，結果顯示有效改善成品品質。模穴壓力對於模具撐模量有直接的關係存在，所以可進一步作為成品品質與鎖模力監控的基礎。

關於利用大柱應變監測鎖模力研究中，陳與曾等人[11-12]利用大柱應變感測器量測射出機哥林多柱應變量中，經由實驗發現在成型過程中大柱產生的應變量與成品品質呈現正的強相關，未來可作為成型品質監控的方法。Huang 等人[1][13-14]在射出機安裝位移感測器與大柱應變感測器，分析模具撐模量與大柱應變在不同的鎖模力設定與充填進澆形式對成品厚度影響，並發現鎖模力在射出/保壓階段會產生一鎖模力增量特徵，如圖 3 所示，此增量與成品厚度有強相關性，而在不同鎖模力設定所對應的鎖模力增量可區分為三種狀態，如圖 4 所示，其中適當鎖模力設定範圍應介於 S1 與 S2 交點附近，此時模具在高壓鎖模情況下因熔膠充填過程可適度撐模並避免過度壓縮導致排氣不良缺陷或鎖模力不足所致毛邊，此外，此研究也提到肘節式射出機的鎖模力會受模具溫度增加而升高影響。

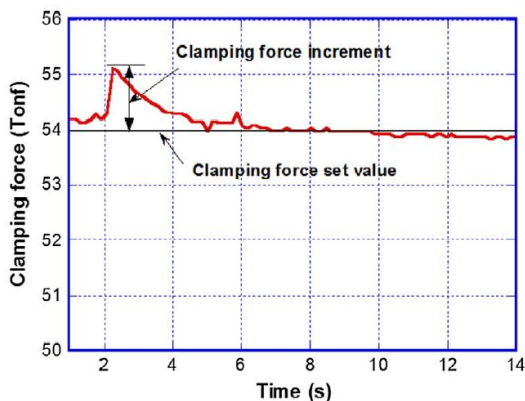


圖 3：射出過程的鎖模力增量[1]

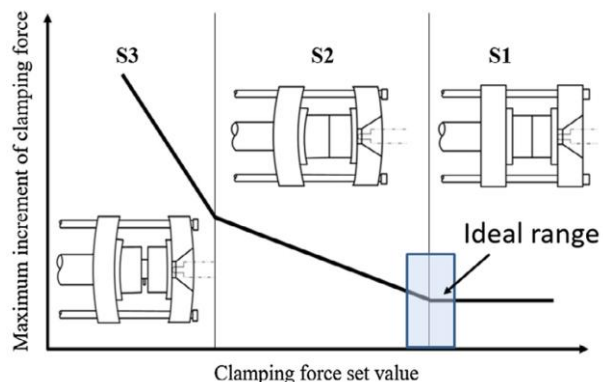


圖 4：鎖模力設定對於鎖模力增量與撐模現象[1]

由於熔膠充填進入模穴中產生甚大模內壓力，而其分布與大小會直接影響撐模量與成品品質好壞，目前關於大柱應變量測，GFRAN 已開發一種大柱應變感測器，可直接量測大柱應變並精確換算獲得實際鎖模力大小。由於射出成型機就鎖模機構而言可大致區分為兩種類型，一為曲肘式(肘節式)鎖模機構，另一為直壓式鎖模機構，目前許多研究針對臥式區肘機構之射出機進行探討；相對而言，本文研究是以立式直壓射出機為基礎，並於射出成型過程量測大柱應變行為以解析曲線特徵與成品品質間之關聯性進行探討，進而提出一種在立式直壓射出成型機的適當鎖模力搜尋方法，以快速尋找適當鎖模力值。

貳、實驗方法

本實驗方法，首先選定所需要的量測設備進行系統架構設計與規劃，再來開發實驗載具，並依所設計之量測系統規劃結合 LabVIEW 程式建立完整量測系統，透過均勻充填近澆的設計案例進行實驗，最後將實驗結果與趨勢進行分析與開發適當鎖模力搜尋方法，並以進行實驗方法驗證，如圖 5 所示。

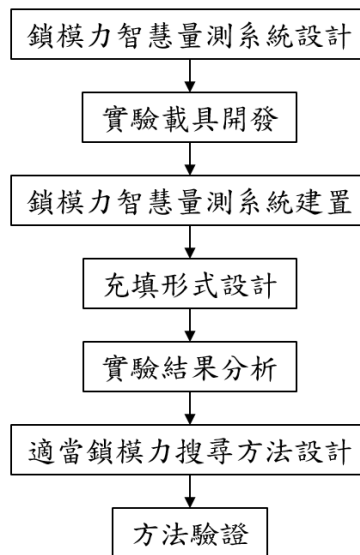


圖 5：實驗方法流程圖

2-1 實驗設置規劃

本研究透過收集射出成型機射膠螺桿位置、射缸壓力與模缸壓力以及利用外部感測器整合大柱應變與模具溫度監測，並透過 DAQ 擷取卡收集至機邊電腦以萃取曲線特徵並分析其和成型品質間關係，量測系統與感測器位置如圖 6 所示。

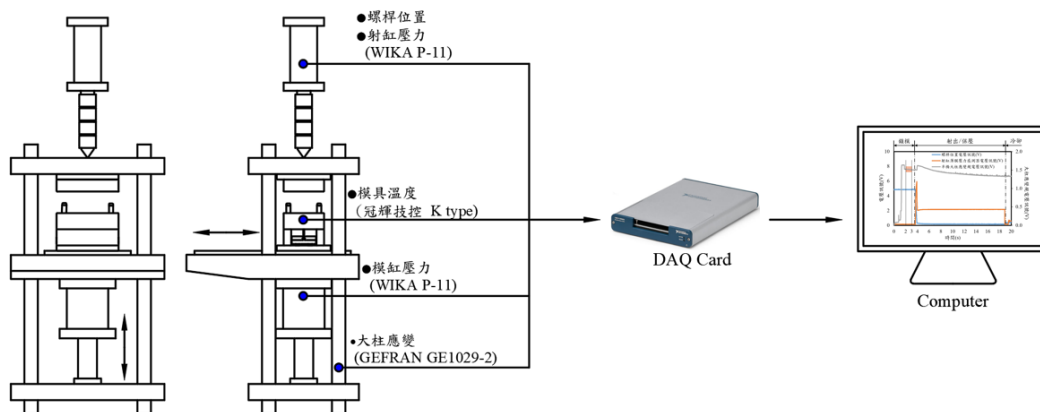
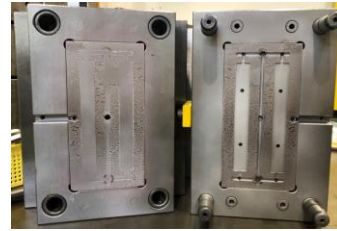
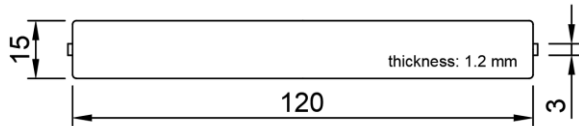


圖 6：直立式射出機之鎖模力監測系統示意圖

2-2 實驗材料與設備

本實驗載具以方形流動測試試片模具進行，此模具可調整熔膠流動方向並改變進澆口位置，如圖 7 所示；實驗塑料使用 CHI-MEI 所生產 PA-756 型號之 ABS，射出成型機採用百塑企業所提供型號 V4-S-35H-G5 之立式直壓射出機，其機台規格如表 1 所示；相關實驗所需之感測器及訊號擷取卡型號如表 2 所示。



(a)

(b)

圖 7：(a)方形試片幾何尺寸(b)試片模具

表 1 V4-S-35H-G5 射出成型機規格表

射出單元	螺桿直徑(mm)	18
	射出行程(mm)	80
	射出壓力(kgf/cm ²)	2117
	射出速度(mm/s)	500
鎖模單元	鎖模力(tonf)	35
	大柱內距(mm)	370 × 210
	鎖模行程(mm)	250
	模厚(mm)	150~250

表 2 實驗用感測器及信號擷取卡型號表

感測器	製造商	型號
應變感測器	GEFRAN	GE1029-2
薄膜式壓力感測器	WIKA	P-11
熱電偶	冠輝技控	K type
訊號擷取卡	National Instruments	USB-6343

2-3 充填形式

本實驗方形流動試片之充填形式以成型過程中熔膠壓力合力點未偏移狀態進行[5]，進澆設計方式如下圖 8 所示，兩種案例成型的合力點位置均在中心位置，代表該兩種進澆方式是均勻撐模的情況。

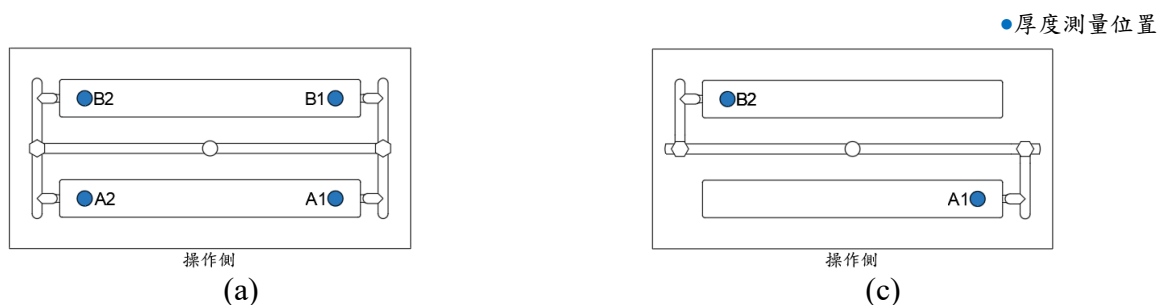


圖 8：(a) 案例 1：A1A2B1B2 一模二穴四點進澆，(b) 案例 2：A1B2 一模二穴兩點進澆

2-3 鎖模力換算方法

本研究透過大柱應變感測器安裝於射出機大柱上以擷取射出成型歷程大柱應變量，並依應力(σ)等於軸向力(F)除以鋼徑面積(A)之關係，如公式(1)，以及應力(σ)等於材料楊氏係數(E)乘以應變(ε)之關係，如公式(2)，獲得換算單支大柱承受之鎖模力，如公式(3)，故需再乘以大柱數量換算實際之鎖模力，如公式(4)所示：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

$$F = \varepsilon \times A \times E \quad (3)$$

$$F_{\Sigma} = \frac{\varepsilon \times A \times E}{1000000} \times 4 \quad (4)$$

其中， A 為大柱截面積(mm^2)， ε 為大柱感測器所量到應變量， E 為大柱楊氏係數(210 kN/mm^2)， F 為大柱鎖模力(kN)。

參、結果與討論

3-1 射出成型之鎖模力量測歷程曲線物理現象解析

圖 9 顯示成型過程大柱應變電壓訊號變化，其中本實驗使用機台鎖模油壓缸具子母缸設計，子缸移動速度快而用於開關模作動，母缸直徑較大則用於高壓鎖模，當兩者切換過程中會使大柱應變規在 0~2 秒之間有一凸波電壓訊號，故本研究之大柱鎖模力擷取 2~3 秒間之電壓訊號以作為實際鎖模力大小換算依據。當熔膠進入射出與保壓階段，鎖模力會因模內壓力瞬間增加而產生鎖模力增量，此現象與肘節式射出機相同。

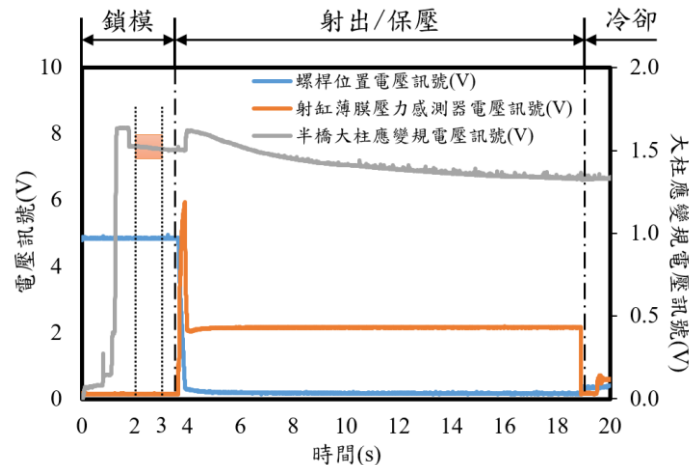


圖 9：關模-保壓狀態下鎖模力變化

3-2 模具溫度與直壓式射出機之鎖模力關係

就模溫而言，由於在區肘式射出成型機，在射出成型過程，當模溫不斷上升過程會致使肘節機構受熱膨脹而進一步影響大柱應變行為，使鎖模力在不同模溫作用下會有所差異，並且需在生產一段時間後進行校調，為此本文在實驗初期為確保模溫是否對直壓式射出成型機鎖模產生影響，故透過連續實驗過程以調整模溫 40°C 、 60°C 、 80°C 之設定以探討模溫對鎖模力影響。實驗結果如圖 10 所示，因直壓式射出機相較於曲肘機並無肘節機構上高壓鎖模後的上死點，僅以模具關模至設定位置後透過油壓缸對模板施加壓力以進行高壓鎖模並持壓，故直壓式射出機高壓鎖模後不受機構影響，鎖模力並不會受到模具溫度增加而上升。

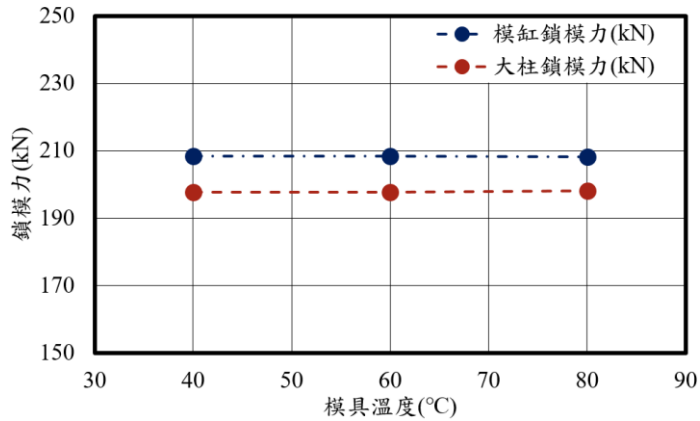


圖 10：直壓示射出機之模具溫度對鎖模力之影響

3-3 試片充填形式實驗結果

本實驗以兩種對稱充填形式進行，固定成型參數以調整 5 kg/cm^2 模缸壓力進行實驗，首先以鎖模力增量與成品厚度趨勢現象分析，如圖 11 為案例 1 A1A2B1B2 實驗形式所示，在模缸壓力設定 95 kg/cm^2 以上時成品厚度呈現穩定狀態， 95 kg/cm^2 以下成品厚度開始變得一致，直到模缸壓力設定至 35 kg/cm^2 以下時成品出現毛邊，而模缸壓力設定 110 kg/cm^2 時鎖模力增量有個明顯轉折點。第二種充填形式如圖 12 呈現案例 2 A1B2 實驗趨勢，在模缸壓力設定 95 kg/cm^2 以上時成品厚度呈現穩定狀態， 95 kg/cm^2 以下成品厚度開始有變厚趨勢，直到模缸壓力設定 60 kg/cm^2 以下成品出現毛邊，而缸壓力設定 105 kg/cm^2 時鎖模力增量斜率有個明顯轉折點。

在射出過程中之射出與保壓階段時，兩種案例充填形式之鎖模力增量會隨著模缸壓力設定越小而增加，而兩組實驗進澆配置都是對稱且均勻撐模，但產生毛邊時的模缸壓力設定不同，此乃因熔膠充填流長比案例 2 相較案例 1 來的大，當熔膠充填距離越長所需充填壓力就越大，故案例 2 所需的鎖模力顯著大於案例 1。

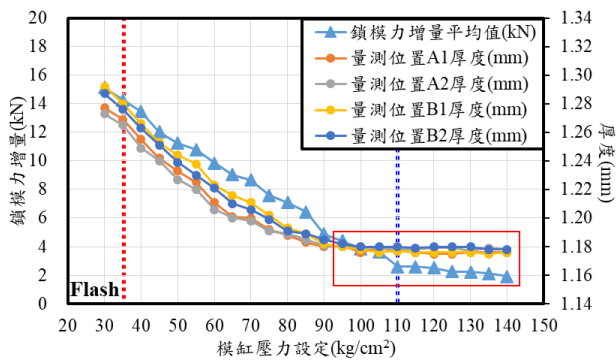


圖 11：案例 1 大柱鎖模力增量與厚度關係

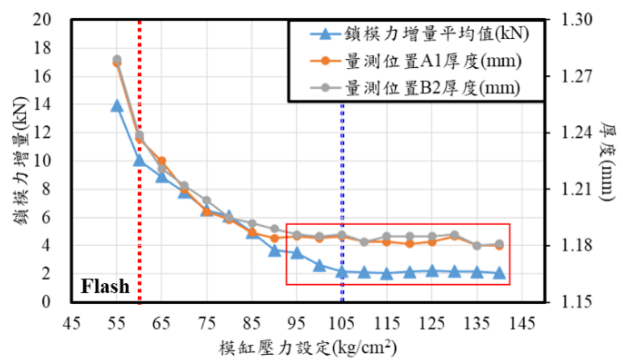


圖 12：案例 2 大柱鎖模力增量與厚度關係

透過立式直壓射出機量測鎖模力增量趨勢與模具撐模情形可分類為三個狀態，如圖 13 所示，此狀態與圖 4 相同，而由圖 11、12 趨勢分析兩個案例的模缸壓力設定在 $95 \text{ kg/cm}^2 \sim 140 \text{ kg/cm}^2$ 之間均可生產良品，此區間鎖模力增量趨勢均有一個顯著轉折點，而此轉折點代表成型過程中模穴壓力與鎖模力達到所能生產良品的平衡區域，故可作為適當鎖模力設定區間。

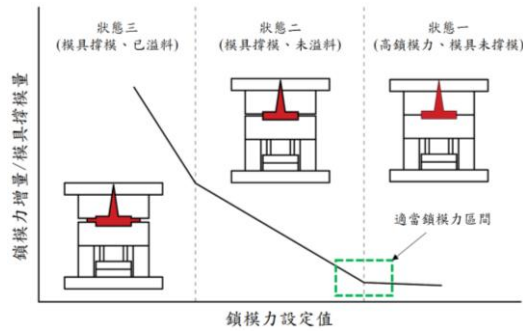


圖 13：鎖模力增量與模具撐模隨鎖模力設定趨勢

3-4 建立適當鎖模力搜尋方法

由上述圖 13 可發現三種狀態的差異與斜率有關，雖然適當鎖模力區間均可生產出穩定厚度的成品，但可能因環境因素而使鎖模力有所異動，依實驗趨勢並非所有轉折點處的趨勢都能夠明顯的辨識，因此可藉由斜率變化與門檻值訂定建立適當鎖模力值搜尋方法。

首先，以機台實驗獲得兩種充填進澆結果為例，狀態一的鎖模力增量在 3 kN 以下，狀態二的鎖模力增量在 4 kN 以上至產生毛邊，然而在 3 kN~4 kN 這個區間屬於狀態一與狀態二的模糊地帶，容易造成擬合有所誤差，所以在此所量測到的鎖模力增量需做調整，如圖 14 所示，先訂定出狀態區一與狀態二區間範圍，並分別在狀態一與狀態二各別量測出三個鎖模力增量，在狀態一中的鎖模力增量分別定為 S_1 、 S_2 、 S_3 ，在狀態二中的鎖模力增量分別定為 S_4 、 S_5 、 S_6 ，當其中有增量落在狀態區之外就須修正回狀態區間內，當在狀態一與狀態二之間均獲得三個鎖模力增量可分別擬合成 L_1 與 L_2 兩條直線方程式，最後求出兩條方程式之交點可作為鎖模力設定值。

以圖 15 為範例，先以鎖模力增量 3 kN~4 kN 定義出狀態一與狀態二範圍，並在從高鎖模力往低所模力開始進行設定並成型獲得鎖模力增量，如圖所示在狀態一獲得 S_1 、 S_2 、 S_3 三個鎖模力增量在狀態二則獲得二個鎖模力增量 S_5 、 S_6 ，而 S_4 鎖模力增量落在 3kN~4kN 區間，則 S_4 鎖模力增量則須調整置狀態二區間中，此時已知 S_5 、 S_6 是在狀態二中，故將 S_4 調整置 S_5 、 S_6 中間以達所設定條件，再將 S_1 、 S_2 、 S_3 三個鎖模力增量擬合成 L_1 以及 S_4 、 S_5 、 S_6 三個鎖模力增量擬合成 L_2 ，並求得 L_1 與 L_2 之交點作為鎖模力設定值。

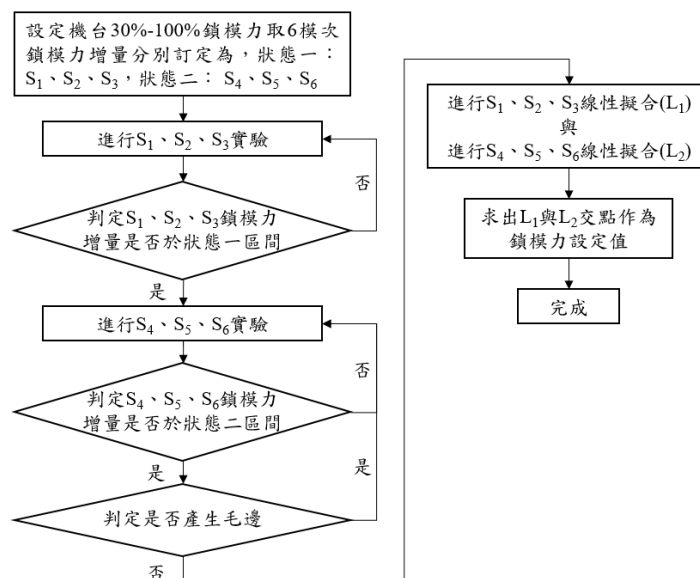


圖 14：適當鎖模力搜尋流程圖

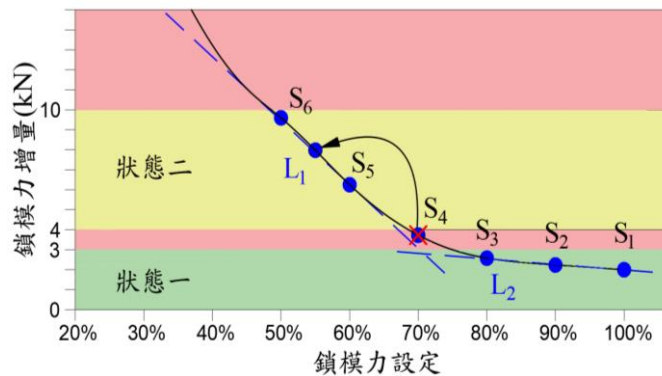


圖 15：適當鎖模力搜尋方法示意圖

3-5 適當鎖模力設定方法驗證

經由重複實驗案例，本實驗依目前所發展之方法相較過去研究之方法同時進行，每一模次模次成型時間為 1 分鐘，利用本次所發展之方法，如圖 16 所示，從模缸壓力設定最大上限 140 kg/cm² 以模缸壓力 10 kg/cm² 作為組距朝向 30 kg/cm² 來搜尋適當鎖模力值，相較過去研究之方法以全組距實驗需花 12 分鐘，而使用目前所發展之方法只需 8 分鐘，可縮短 33% 的搜尋時間。

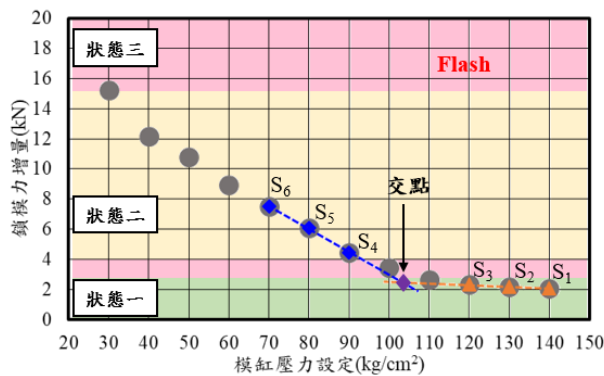


圖 16：適當鎖模力設定方法驗證結果

肆、結論

本研究以觀察模缸壓力設定值對鎖模力增量及成品厚度之影響，並提出一基於立式直壓射出機之適當鎖模力搜尋方法，由實驗結果可大致歸納結論如下：

- (1) 塑件厚度在高鎖模力下呈現穩定趨勢，當鎖模力設定越小而進入狀態二時，成品厚度會趨於增加並變厚，最後在進入狀態三而產生毛邊缺陷，此時因熔膠外溢出分模面，對模具會造成變形且大柱會過度拉伸或有斷裂之潛在風險，此立式直壓機鎖模力增量現象與臥室曲肘機在均勻充填時候的現象相同。
- (2) 在改變模溫實驗中，模具溫度變化對立式直壓射出機並未造成鎖模力不一致，其原因是立式直壓射出機是靠油壓缸到達高壓鎖模位置才進行高壓鎖模，所以到達所設定的鎖模力便持壓，相對於肘節式射出機因有調模機構與肘節機構，在進行高壓鎖模時調模機構位置不變而肘節機構上高壓鎖模後會進入上死點，所以鎖模力會因為模具的熱脹冷縮而有所變動。
- (3) 本實驗初步提出之適當鎖模力搜尋方法，並以重複實驗初步成功驗證可於 6 模次內找到適當鎖模力設定值而非只是設定至適當鎖模力區域中，且相較過去技術可大幅縮短鎖模力設定搜尋時間，將來需結合於機台控制器中相較過去方法相對容易更能達至智慧化與自動化適當鎖模力搜尋之目標，故深具產業應用價值與發展潛力。

伍、參考文獻

1. M.S. Huang, C.Y. Lin, 2017. A novel clamping force searching method based on sensing tie-bar elongation for injection molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 109, pp. 223–230.
2. J. Y. Chen, K. J. Yamg, M.S. Huang, 2018. Online quality monitoring of molten resin in injection molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.122, pp. 681-693.
3. 楊凱傑, 2017. 線上射出成型熔膠品質變異監測技術, 國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文, 高雄, 台灣。
4. 黃明賢、陳建羽、粘世智、楊凱傑, “監測成型品質的方法”, 中華民國發明專利, I657911
5. M.S. Huang, 2018. Influence of clamping force on tie-bar elongation, mold separation, and part dimensions in injection molding, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 183, pp. 419-424.
6. 陳克昌, 2001. 射出成型機射出切換保壓控制方法之研究, 國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文, 高雄, 台灣。
7. B. H. Min, 2003. A study on quality monitoring of injection-molded parts, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 136, pp. 1-6.
8. M. R. Kamal, A. E. Varela, W. L. Patterson, 1999. Control of Part Weight in Injection Molding of Amorphous Thermoplastics, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 39, No.39, pp. 940-952
9. V. Speranza, U. Vietri, R. Pantani, 2011. Monitoring of Injection Molding of Thermoplastics: Average Solidification Pressure as a Key Parameter for Quality Control, *Macromolecular Research*, Vol. 19, No. 6, pp 542-554.
10. Z. Chen, L.S. Turng, K.K. Wang, 2006. Adaptive online quality control for injection-molding by monitoring and controlling mold separation, *Polymer Engineering & Science*, Vol. 46, No.5, pp. 712-722.
11. 陳建羽, 曾健洲, 黃明賢, 林宗彥, 2018. 射出成型製程與機台品質監測技術, 2018 模具暨應用產業技術論文發表會, 台北, 台灣。
12. 曾健洲, 2018. 創新射出成型線上品質監測方法, 國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文, 高雄, 台灣。
13. M.S. Huang, S.C. Nian, J.Y. Chen, C.Y. Lin, 2018. Influence of clamping force on tie-bar elongation, mold separation, and part dimensions in injection molding, *Precision Engineering*, Vol. 51, pp. 647–658.
14. 黃明賢、林承佑、林宗彥, “射出成型機鎖模力設定方法及其裝置”, 中華民國發明專利, I588006