



國立台灣科技大學

機械工程系

碩士學位論文

學號：M9503920

---

高分子熔膠於彈臂搭接處之射出成形與  
分子配向性分析

**Molecular Orientation Analysis of Step Feature  
of the Function Key Arm by Injection Molding**

研究生：王晴遠

C.Y. Wang

指導教授：陳炤彰 博士

Dr. C-C. A. Chen

中華民國九十九年六月二十九日



## 碩士學位論文指導教授推薦書

本校 機械工程系 王晴遠(WANG, CHING-YUAN) 君

所提之論文：

高分子熔膠於彈臂搭接處之射出成形與分子配向性分析

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授：陳昭彰

指導教授 陳昭彰

99年 6 月 29 日



# 碩士學位考試委員審定書



M9503920

指導教授：陳昭彰

本校 機械工程系 王晴遠 君

所提之論文：

高分子熔膠於彈臂搭接處之射出成形與分子配向性分析

經本委員會審定通過，特此證明。

學校考試委員會

委

員：

張學語

趙川武

陳昭彰

黃國政

沈永康

指導教授：

陳昭彰

學程主任：

系(學程)主任、所長：

林其昂

中華民國 99 年 6 月 29 日

# 中文摘要

本研究為探討高分子材料射出成形時在按鍵彈臂與外框結構搭接處的分子配向行為，使用模具為林政佑學長開發的功能按鍵。高分子材料選定結晶性材料的 PP 與不定性材料 ABS，探討此兩種材料在搭接處的分子配向行為。本研究並利用模流分析 Moldex R9.1 進行充填行為分析，並與射出成形之結果進行短射比對。分子配向使用拉曼光譜作為分子配向的分析工具，在不同的模溫分別對垂直與平行於射出方向的搭接處，做拉曼光譜的結果比較。PP 在固化層的峰值強度稍大於核心層，因此模溫對於核心層的峰值強度影響低於固化層，從峰值的變化可以得到結晶性材料可由拉曼光譜中判斷分子的配向性。分析 ABS 的分子配向性，在轉角處的峰值強度差異不大，非晶性材料在固化層易形成大的分子配向，冷卻後來不及鬆弛即固定。一般分子配向研究較著重於平面的分析，本研究結果可應用於具有高低落差特徵的塑膠結構之射出成形特性比較，期望提供設計者對此特徵的設計參考，減少開發期程。

關鍵字：模流分析，分子配向性，射出成形，拉曼光譜

# Abstract

This research is to investigate the molecular orientation of two thermoplastic polymer materials (including PP and ABS) step feature for the function key arms by injection molding. The Moldex3d R9.1 is used to run the simulation to compare with the experimental result by injection molding. The Raman spectrometer is used to observe and to compare the intensity peak by different molding temperature and flow direction. Result shows that the intensity peak of skin layer of PP resin is higher than that of core layer. There is almost the same as the different from intensity peak of ABS resin around the edge corner. Research result can be used to justify the molecular orientation of the mechanical structure of step feature by injection molding reduce the lead time of such product feature development.

Keywords: Injection Molding, Moldflow Analysis, Molecular Orientation , Raman Spectrometer

# 誌謝

首先要感謝指導教授陳炤彰博士在研究所最後一年不厭其煩的教導，對論文的研究方向指正引導才能順利完成，在此致上誠摯地謝意。

這篇論文能夠完成得感謝實驗室的同學們在這段時間的幫忙，首先感謝豐吉在射出成形與模流分析的幫忙，志豪在論文與行政事務的幫忙，敬賢在電腦的協助還有國鴻在論文的最後階段陪同我一起做實驗熱心並提供許多寶貴意見。還有感謝實驗室內所有的學弟們能在我需要幫助的時候都能義不容辭的答應。另外感謝太松實業朱祥麟先生、奇美陳秋貴先生提供實驗需要的塑膠料，公司的主管王志忠先生與廖宏達先生能夠寬容我在這段時間的不正常出席。

最後，感謝我摯愛的母親林金女士與妻子維君感謝您們對我的關懷與鼓勵，還有兩個可愛小寶貝，讓我在這段期間的生理與心理的到最大的支撐，能夠順利完成學業。

晴遠

2010 年 6 月 29 日 於製造分析實驗室

# 目 錄

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 中文摘要.....                  | I   |
| Abstract.....              | II  |
| 致謝.....                    | III |
| 目錄.....                    | IV  |
| 圖目錄.....                   | VII |
| 表目錄.....                   | XII |
| 第一章 導論.....                | 1   |
| 1.1 前言.....                | 1   |
| 1.2 研究目的與方法.....           | 2   |
| 1.3 章節介紹.....              | 6   |
| 第二章 文獻回顧.....              | 7   |
| 2.1 高分子材料配向性與流變特性文獻回顧..... | 7   |
| 2.2 塑膠射出成形的文獻回顧.....       | 14  |
| 2.3 文獻回顧總結.....            | 15  |
| 第三章 射出成品高分子特性與實驗原理.....    | 26  |
| 3.1 高分子性質的概念.....          | 26  |
| 3.1.1 熱塑性塑膠.....           | 26  |
| 3.1.2 熱固性塑膠.....           | 28  |
| 3.2 影響射出成型品材料性質因素.....     | 28  |

|       |                     |    |
|-------|---------------------|----|
| 3.2.1 | 充填速率的影響.....        | 29 |
| 3.2.2 | 保壓機制的影響.....        | 29 |
| 3.2.3 | 冷卻機制的影響.....        | 30 |
| 3.3   | 高分子構造與分子配向性的關係..... | 30 |
| 3.4   | 拉曼光譜分析儀的原理與觀察.....  | 32 |
| 3.5   | 彈臂搭接處的殘留應力量測.....   | 34 |
| 第四章   | 實驗設備與實驗設計.....      | 42 |
| 4.1   | 實驗設備.....           | 40 |
| 4.1.1 | 全電式射出成形機.....       | 40 |
| 4.1.2 | 實驗模具.....           | 40 |
| 4.1.3 | 模溫機.....            | 41 |
| 4.1.4 | 烘料機.....            | 41 |
| 4.1.5 | 塑膠材料.....           | 42 |
| 4.2   | 量測儀器.....           | 51 |
| 4.2.1 | 成型試片的取樣製作.....      | 51 |
| 4.2.2 | 拉曼光譜儀.....          | 51 |
| 4.2.3 | 應力偏光儀.....          | 52 |
| 4.3   | 實驗流程規劃.....         | 56 |
| 4.3.1 | 模流分析.....           | 56 |



|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.3.2 | 射出成形實驗.....                             | 58  |
| 4.3.3 | 量測比對分析.....                             | 59  |
| 第五章   | 實驗結果與討論.....                            | 66  |
| 5.1   | 模流分析、短射實驗.....                          | 66  |
| 5.2   | 成形視窗實驗.....                             | 67  |
| 5.3   | 拉曼光譜量測結果.....                           | 68  |
| 5.3.1 | 拉曼光譜 PP 的分析結果.....                      | 69  |
| 5.3.2 | 拉曼光譜 ABS 的分析結果.....                     | 71  |
| 5.4   | 殘留應力之光彈量測.....                          | 72  |
| 第六章   | 結論與建議.....                              | 95  |
| 6.1   | 結論.....                                 | 95  |
| 6.2   | 建議.....                                 | 96  |
|       | 參考文獻.....                               | 98  |
| 附錄 A  | FANUC ROBOSHOT $\alpha 15-iA$ 機台規格..... | 103 |
| 附錄 B  | 大同-NAK80 鋼料之機械性質.....                   | 104 |
| 附錄 C  | 奇美 ABS PA-757物性表.....                   | 106 |
| 附錄 D  | 日本 JPP MG3FTA 物性表.....                  | 107 |
| 附錄 E  | MOLDEX3D R9.1 翹曲分析結果.....               | 108 |
|       | 作者簡介.....                               | 117 |

# 圖 目 錄

|         |                                |    |
|---------|--------------------------------|----|
| Fig1-1  | 射出成型之壓力-時間圖.....               | 4  |
| Fig1-2  | 彈臂按鍵實例.....                    | 4  |
| Fig1-3  | 彈臂分子配向圖.....                   | 5  |
| Fig 2-1 | 噴流泉現象示意圖.....                  | 17 |
| Fig2-2  | 高分子在模穴的配向行為.....               | 18 |
| Fig2-3  | 試片斷面示意圖.....                   | 18 |
| Fig2-4  | 不同比例之 SAN/phenoxy polymer..... | 19 |
| Fig2-5  | 雙折射的測量圖形.....                  | 19 |
| Fig2-6  | 不同保壓壓力對厚度方向的殘留應力影響.....        | 20 |
| Fig2-7  | 微流道入子圖.....                    | 20 |
| Fig2-8  | PET 在不同模溫的成型試片.....            | 21 |
| Fig2-9  | a 為動態保壓, b 為靜態保壓.....          | 21 |
| Fig2-10 | iPP/POE 的 3D 相型態圖.....         | 22 |
| Fig2-11 | VAIM 射出成型示意圖.....              | 22 |
| Fig2-12 | PP 在偏光顯微鏡下顯示三種層向.....          | 23 |
| Fig2-13 | PP 塑料在充填時模穴的厚度方向溫度變化.....      | 23 |
| Fig2-14 | PP 塑料在充填時模穴的厚度方向剪應變率分佈.....    | 23 |
| Fig2-15 | PP 的拉曼位移.....                  | 24 |

|          |                                    |    |
|----------|------------------------------------|----|
| Fig2-16  | 不同厚度的工件.....                       | 24 |
| Fig2-17  | 導光片上的雙面微溝槽.....                    | 25 |
| Fig2-18  | 彈臂斷面示意圖.....                       | 25 |
| Fig3-1   | 高分子依溫度分類.....                      | 35 |
| Fig3-2-1 | 結晶性分子鏈分佈.....                      | 35 |
| Fig3-2-2 | 不定性分子鏈分佈.....                      | 35 |
| Fig3-3   | 比容與溫度關係圖.....                      | 36 |
| Fig3-4   | 射出成型週期示意圖.....                     | 37 |
| Fig3-5   | 分子鏈配向性受外力影響.....                   | 38 |
| Fig3-6-1 | 拉曼散設機制.....                        | 38 |
| Fig3-6-2 | 瑞立及拉曼散射過程.....                     | 38 |
| Fig3-6-3 | 拉曼光譜儀.....                         | 39 |
| Fig3-7   | 光彈光場示意圖.....                       | 39 |
| Fig4-1   | FANUC $\alpha$ -15iA 全電式射出成型機..... | 43 |
| Fig4-2   | 成品3D示意圖.....                       | 43 |
| Fig4-3   | 公、母模仁圖.....                        | 44 |
| Fig4-4   | 模具示意圖.....                         | 44 |
| Fig4-5   | 模溫機.....                           | 45 |
| Fig4-6   | K type 熱電偶之溫度感測器.....              | 45 |

|         |                          |    |
|---------|--------------------------|----|
| Fig4-7  | 溫度感測器固定位置示意圖.....        | 46 |
| Fig4-8  | 烘料機.....                 | 46 |
| Fig4-9  | ABS 分子結構式.....           | 47 |
| Fig4-10 | 奇美 ABS PA-757 塑膠材料.....  | 47 |
| Fig4-11 | ABS PA-758 PVT 圖.....    | 48 |
| Fig4-12 | ABS PA-758 剪黏度圖.....     | 48 |
| Fig4-13 | PP 分子結構式.....            | 49 |
| Fig4-14 | JPP MG3FTA 塑膠材料.....     | 49 |
| Fig4-15 | PP MG3FTA PVT 圖.....     | 50 |
| Fig4-16 | PP MG3FTA 剪黏度圖.....      | 50 |
| Fig4-17 | 試片的切斷面方向示意圖.....         | 53 |
| Fig4-18 | 試片完成示意圖.....             | 53 |
| Fig4-19 | RENISHAW 光譜顯微鏡.....      | 54 |
| Fig4-20 | 雷射光源供應與濾光系統.....         | 54 |
| Fig4-21 | 應力光彈分析儀.....             | 55 |
| Fig4-22 | 實驗流程圖.....               | 60 |
| Fig4-23 | Moldex3D R9.1 分析流程圖..... | 61 |
| Fig4-24 | 成品 3D 網格圖.....           | 62 |
| Fig4-25 | 3D 網格品質圖.....            | 62 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Fig4-26 | 模溫作業示意圖.....                           | 64 |
| Fig4-27 | 拉曼光譜測試點.....                           | 65 |
| Fig5-1  | PP 材質 A 穴短射比對.....                     | 74 |
| Fig5-2  | PP 材質 B 穴短射比對.....                     | 75 |
| Fig5-3  | ABS 材質 A 穴短射比對.....                    | 76 |
| Fig5-4  | ABS 材質 B 穴短射比對.....                    | 76 |
| Fig5-5  | A 穴剖面溫度分佈(PP).....                     | 78 |
| Fig5-6  | B 穴剖面溫度分佈(PP).....                     | 78 |
| Fig5-7  | A 穴剖面剪切率分佈(PP).....                    | 79 |
| Fig5-8  | B 穴剖面剪切率分佈(PP).....                    | 79 |
| Fig5-9  | A 穴流動波前的狀態.....                        | 80 |
| Fig5-10 | B 穴流動波前的狀態.....                        | 80 |
| Fig5-11 | PP 成形視窗.....                           | 81 |
| Fig5-12 | PP拉曼光譜-模溫35°C-A、B穴垂直方向.....            | 82 |
| Fig5-13 | PP拉曼光譜-模溫65°C-A、B穴垂直方向.....            | 82 |
| Fig5-14 | PP拉曼光譜-模溫35°C及65°C-A穴垂直方向(4, 5, 6).... | 84 |
| Fig5-15 | PP拉曼光譜-模溫35°C及65°C-B穴垂直方向(4, 5, 6).... | 84 |
| Fig5-16 | PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴垂直方向(1, 2, 3).... | 85 |
| Fig5-17 | PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-A穴垂直方向(1, 2, 3).... | 85 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Fig5-18 | PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴平行流方向(1, 2, 3)... | 86 |
| Fig5-19 | PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴平行流方向(4, 5, 6)... | 86 |
| Fig5-20 | 模擬PP高分子鏈不同方向的照射.....                   | 87 |
| Fig5-21 | ABS拉曼光譜-模溫50°C-A、B穴垂直方向(4, 5, 6).....  | 88 |
| Fig5-22 | ABS拉曼光譜-模溫90°C-A、B穴垂直方向(4, 5, 6).....  | 89 |
| Fig5-23 | ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴垂直方向(1, 2, 3)... | 90 |
| Fig5-24 | ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-A穴垂直方向(1, 2, 3)... | 91 |
| Fig5-25 | ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴平行流方向(1, 2, 3).. | 91 |
| Fig5-26 | 模擬ABS高分子鏈不同方向的照射.....                  | 92 |
| Fig5-27 | ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴平行流方向(4, 5, 6).  | 92 |
| Fig5-28 | PP應力光彈圖.....                           | 93 |
| Fig5-29 | ABS應力光彈圖.....                          | 94 |

# 表 目 錄

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 表 2-1 高分子配向性與流變特性文獻.....        | 11 |
| 表 2-2 射出成形翹曲參考文獻.....           | 15 |
| 表 4-1 ABS 成形參數設定表.....          | 63 |
| 表 4-3 PP 成形參數設定表.....           | 64 |
| 表 5-1 ABS 塑料 Z 軸翹曲量.....        | 73 |
| 表 5-2 PP 塑料 Z 軸翹曲量.....         | 73 |
| 表 5-3 分子振動模式對照表.....            | 83 |
| 表 5-4 PP 拉曼位移與分子振動模式對照表.....    | 83 |
| 表 5-5 ABS 拉曼位移與分子官能基振動模式對照..... | 87 |



# 第一章 導論

## 1.1 前言

高分子材料憑藉著本身之優良特性與日益精進的高分子加工技術，高分子製品持續朝著高性能、高效率、低成本的方向快速發展。而高分子製品的尺寸與幾何結構也從傳統結構製造精度往微奈米結構製造精度邁進。傳統的射出成形主要分六個階段，合模、充填、保壓、冷卻、閉模與頂出，主要的成形時間都落在充填、保壓與冷卻，又以所花冷卻時間最久如 Fig1-1 所示，影響射出成形品機械性質的原因很多，除了已知射出參數如保壓及冷卻因素外 [1]，還有高分子材料的性質、塑料的結晶性以及分子的配向性等都會影響產品的機械性質 [2]。本論文以林的搭接式彈臂的功能按鍵為研究主題，此按鍵的熔膠是由工件薄處（彈臂）流向工件厚處（外框），因此在搭接處形成阻力流動較慢，成形時間拉長，也會產生亂流導致分子配向與熔膠流向不一致，產生殘留應力與機械性質改變的問題。

輕薄短小是消費性電子產品一直不變的趨勢，為了滿足此產品的設計需求，外觀的零件必須力求縮小，一般手機與筆記型電腦的塑膠



外殼大多為 1.2mm 以下，而薄殼射出件又以翹曲變形對產品的影響最大，非常不利於產品的射出成形製造條件。電子產品中都少不了負責與外界接觸的介面：按鍵，現今之按鍵設計可分為設定用之功能按鍵(彈臂機構)與一般輸入用之數字按鍵(彈性矽橡膠軟墊機構)兩種，功能按鍵之彈臂種類依彈臂與外框架構連接方式不同，可分為側進式與搭接式二種 Fig1-2，藉此探討搭接式的彈臂如因肉厚的變化並以半結晶性(Semi-Crystalline)材料聚丙烯 PP(Polypropylene, PP)與非等向性(Amorphous)材料 ABS 塑膠(Acrylonitrile Butadien Styrene Copolymer, ABS)兩種材料，研究搭接處的射出成形分析與分子配向性的關聯，期望能得到經常應用於電子產品的按鍵彈臂設計與塑膠肉厚變化時有用的參考價值。

## 1.2 研究目的與方法

本研究目的是比較結晶性材料 PP 與非等向性材料 ABS 在充填時的射出成形差異分析與彈臂因工件厚度變化產生的分子配向性，如 Fig.1-3 為目前研究案例。目前所知對微量射出成形的成形品質控制不易，有關高分子的流動與流變狀態特性與相對應的結晶效應與配向效應等的高分子結構狀態還有待進一步的研究與探討。藉由探討高分子在關鍵區域的高分子成形相關聯性以提高高分子製品的品質。

本研究包括模流分析軟體 Moldex3d R9.1 與前處理 Rhinoceros4.0、射出成形實驗、拉曼光譜儀分析應力與偏光儀觀察比較等四部份。茲說明如下：

- (1) 軟體模擬分析：利用 Rhinoceros4.0 將成品網格化經由 Moldex3d R9.1 進行模擬分析，以模溫、保壓與冷卻時間為模擬參數，來驗證實際射出狀況是否吻合並可得出內部溫度與壓力分布情形。
- (2) 射出成形實驗：取模流分析的成形參數進行上述材料的成品取樣，模具以三板小點進膠，一模二穴設計，A 穴彈臂搭接處無導角設計，B 穴彈臂搭接處有導 R 角設計，以相同射出條件進行取樣，比較搭接處的分子配向與殘留應力分佈。
- (3) 拉曼光譜分析：針對平行與垂直於熔膠流向製作斷面切割樣品，以固化層、剪切層與核心層作為拉曼光譜的測試位置，再將不同的成形參數比較對分子配向性的影響。
- (4) 應力偏光儀的觀察：透過應力偏光儀的觀察，可以看到成形結構試片內部結構因材料不同與成形參數的關係而使的光線在不同的物質的干涉現象（Interference）來判讀出應力的分佈情形。

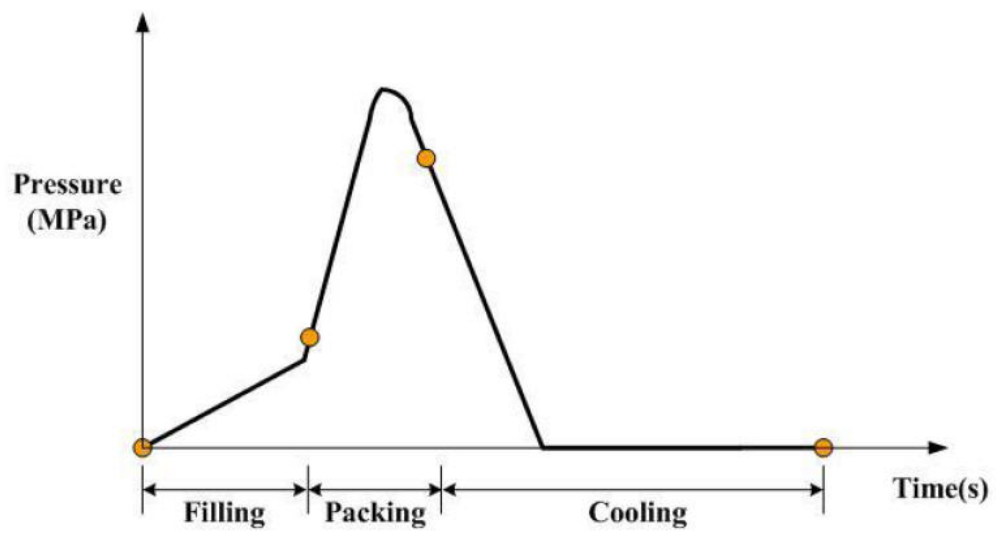


Fig1-1 射出成形週期時間示意圖

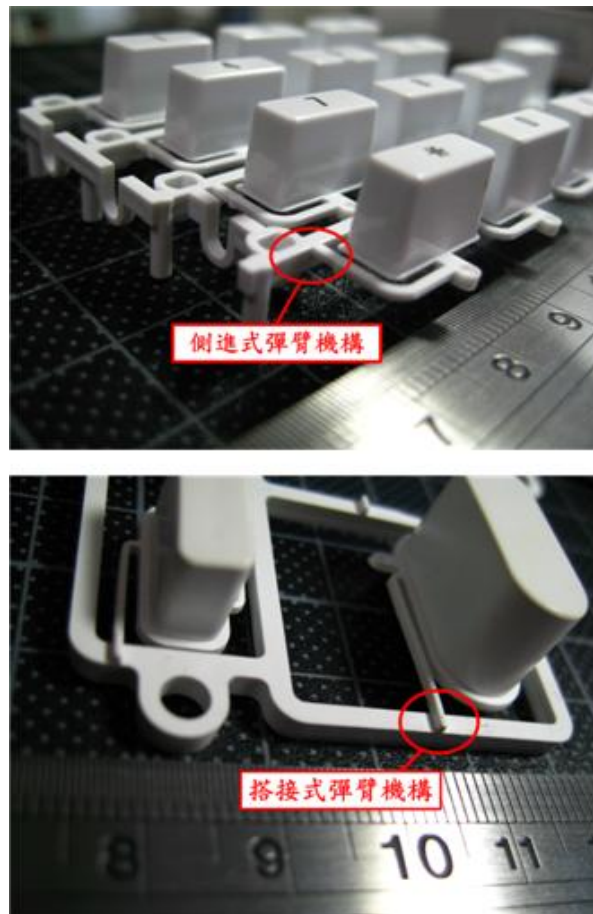
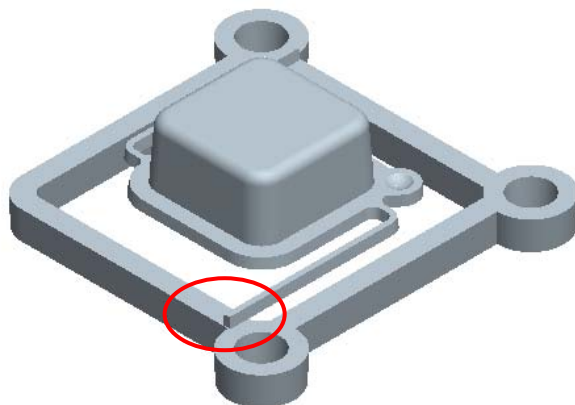
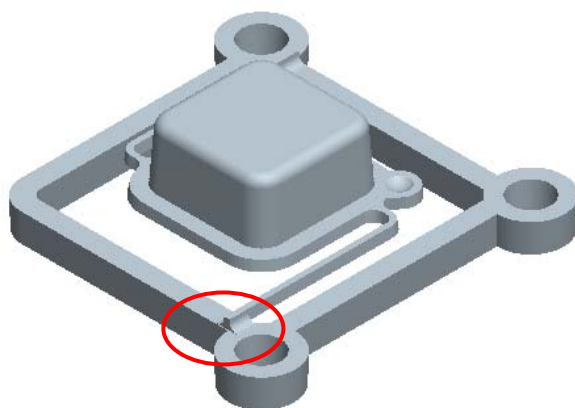


Fig1-2 彈臂按鍵實例



A 穴



B 穴

Fig1-3 功能按鍵 A、B 穴圖

## 1.3 章節介紹

第一章導論，內容為論文研究背景、目的及方法，並說明材料性質與分子配向的關連。

第二章文獻回顧，針對射出成形技術與高分子性質研究的各別相關文獻之回顧。

第三章射出成品高分子特性與實驗原理，討論高分子在成形過程後的配向行為並說明實驗原理與方法。

第四章實驗設計與量測方法，內容為介紹成形參數的設計，實驗所使用之設備包含射出成形機與量測設備等並說明量測方法。

第五章為針對模流分析與實際射出成品的高分子配向行為進行量測，比較量測數據的結果並進行觀察與討論。

第六章為此研究的結論及針對此研究的過程與結論的期望進行建議。

## 第二章 文獻回顧

本研究延續林[3]之研究，參考對高分子流變的文獻回顧，探討高分子在彈臂搭接處的分子配向性的問題，第二部份為使實驗順利進行，同時也參考與射出成形翹曲相關的論文。

### 2.1 高分子材料配向性與流變特性文獻

1974年Tadmor[4]提出分子配向性在成形的表面呈現沿著波前方向穩定的伸長，中心部份則受到波前後的剪力與凝固層間的影響如Fig 2-1。這兩個狀態的分子所需的空間大小將由熱傳率決定。

1986年Takeshima與Funakoshi[5]以拉曼光譜儀測量PC材質的碟盤上表面層,剪力層與核心層的分子配向性Fig 2-2，定義在拉曼位移635與703 $\text{cm}^{-1}$ 的峰值比，發現表面層因為模壁冷卻的關係在來不及鬆弛就被定向，同時核心層還在鬆弛的狀態，剪力層則有較好的分子配向性。

1987年Trotignon等人[6]以PP為成形材料試片，以顯微鏡、掃描式熱卡分析儀（DSC）、廣角X光繞射儀（WAXs）與紅外線（IR）觀察試片Fig 2-3的斷面表層與中心層的結晶度、分子配向性與斷面的相變化與冷卻時間及保壓設定有關。

1994年Lee等人[7]混合苯乙烯丙烯腈（SAN）與苯氧基聚合物（Phenoxy Polymer）進行射出實驗並以SEM觀察不同比例的混合的

相變化Fig 2-4，可以觀察到SAN比例較高時，邊界較不明顯，Phenoxy比例較高時則會有明顯的邊界產生，其結果為SAN比例較高時機械性質較佳，黏度較高，Phenoxy比例較高時機械性質較差，黏度較低。

1998年Jansen等人[8]實驗以不同成形條件進行七種不同的熱塑性塑膠（PC、PS、ABS、HIPS、PBT 1505、PBT3235、HDPE）的收縮實驗，其結果証明保壓變化是主要的因素，熔膠溫度次之，模溫及射速則影響不大。非等向性材料使用一簡單的熱彈模型及可預測其收縮程度，半結晶材料則較難預測。

1998年Neves等人[9]利用雙折射Fig 2-5的測量方式測量PC材料的圓型碟片切面，發現有三種峰值特性，發現融膠溫度與射速影響雙折射的效果較明顯，搭配有限元素分析並依此來預測PC材質的圓盤機械特性並減少射出成形殘留的應力。

2002年Huang等人[1]以PC及ABS為成形材料，分別研究薄件射出成形在不同製程參數下對翹曲變形與殘留應力的影響，並以田口方法進行實驗規劃，最後再比對軟體模擬實作 Fig 2-6，發現模擬與實作結果並無太大差異，保壓壓力為影響翹曲變形最重要之因子貢獻度達 15.59%，其次分別為模具溫度、塑料溫度、保壓時間，而充填時間與澆口尺寸影響最小。另外提高融膠溫度和模具溫度及減小保壓壓力，可以有效降低成品殘留應力。



2003年Chen[10]針對高分子熔膠在微流道流動的流變性質做初步的研究。以微流道尺寸0.2 mm、0.3 mm和0.5 mm之正方型截面流道Fig 2-7經由分析結果得知在微流道中流動時融膠的黏度相對於大尺寸流道會降低。

2004年Viana等人[11]研究保持相同的其它射出參數PET試片Fig 2-8在模溫30°C、50°C、80°C、100°C、120°C、150°C時相變化與機械性質的關係，研究發現層相的發展與到達結晶溫度時間及高分子配向時間有關，模溫較高時分子配向程度較低，增加成形時初使結晶度。當結晶溫度時間大於分子配向時間因配向作用較弱則配向層較薄，反之則配向層較厚。



2005年Na等人[12]利用混合了不同比例的HDPE與iPP並以動態保壓射出成形，測量不同比例的抗拉強度Fig 2-9，發現iPP含量70-80%時抗拉強度最佳。

2006年Li等人[13]以固定比例80/20混合下列材質iPP/aPP、iPP/POE、iPP/EPDM與iPP/EVA，經由動態保壓成形試驗，利用SEM、2D WAX與Instro材料試驗觀察混合材料的相形態Fig 2-10、分子配向、機械性質與iPP各種材料之間的相容性，結果aPP與iPP相容性最佳，依次為POE與EPDM，EVA則完全不相容，相容性較高的材料會降低變形與分子配向，很可能是分子之間的交纏互相影響。



2007年Layser等人[2]使用Vibration Assisted Injection Molding的方式Fig 2-11控制融膠的流動行為，可改善沿著試片厚度方向的分子配向與增加抗拉強度。

2008年范[14]以PP、PMMA作為材料，探討射出參數對微結構的充填性與其高次結構的組成的影響，並透過偏光顯微鏡作觀察分析。觀察發現PP成品的高次結構，由模壁至內部依次為固化層、剪切層與核心層不同相的高次結構，截面的厚度約呈現1:2:4，如Fig 2-12。保壓壓力有助於密實充填微結構的成形。模具溫度的提升，也有助於成品內結晶的生成。因PMMA分子支鏈較PP大，所以黏度大於PP，因此在此微射出成形過程中，PMMA會比PP來的難成形。

2008年陳[15]以PP與PMMA做為材料，應用模流分析的結果比較流變行為差異，並與范智翔之結果作為比較。發現冷卻速率、剪應變率與材料的結晶有相當大的關聯性，如Fig2-13所示，塑料貼近模壁部分溫度急速下降，流動性變差形成固化層。鄰近固化層的塑料受到流動時剪應力的作用產生剪切層，如Fig2-14。模穴中央部分溫度最高，受到的剪切應力最小則稱為核心層。提高射出壓力讓微結構充填深寬比上升，但結果不如提高模溫的明顯。當射出壓力提高時，使得模穴內的壓力及剪應變率上升。

2008年Murakami等人[16]，利用拉曼光譜來分析PC在微結構射出

元件內的分子配向性。針對截面上固化層和核心層的光譜做一比對，定義在拉曼位移在 $635$ 和 $703\text{ cm}^{-1}$ 的峰值比( $I_{635}/I_{703}$ ) Fig2-15，發現固化層峰值比高於核心層的峰值比，是因為塑料先接觸模壁冷卻後還來不及鬆弛就被定向。又將峰值比與各射出參數的轉寫率作比較，發現模溫為影響分子配向最大的因子，這篇研究主要探討如何有效控制射出條件來得到高轉寫率和低的分子配向性。

2010年Martin等人[17]利用不同厚度的工件Fig2-16發現表皮層（凝固層）的厚度受到剪切力因模穴的影響而有不同，表皮層的厚度與工件的厚度成反比，並使用拉曼光譜的峰值比定義出不同厚度表皮層的官能基變化。



表2-1 高分子配向性與流變特性文獻

| 作者        | 年代   | 內容   |
|-----------|------|--|
| Tadmor    | 1974 | 分子配向性在成形的表面呈現沿著波前方向穩定的伸長，中心部份則受到波前後的剪力與凝固層間的影響。這兩個狀態的分子所需的空間大小將由熱傳率決定。 [4]   |
| Takeshima | 1986 | 以拉曼光譜儀測量PC材質的碟盤上表面層，剪力層與固化層的分子配向性，定義在拉曼位移 $635$ 與 $703\text{ cm}^{-1}$ 的峰值比，發現表面層因為模壁冷卻的關係在來不及鬆弛就被定向，同時核心層還在鬆弛的狀態，剪力層則有較好的分子配向性。 [5] |
| Trotignon | 1987 | 以 PP 為成形材料試片，以顯微鏡、DSC、WAXs 與 Ir 觀察試片的斷面表層與中心層的結晶度、分子配向性與斷面的相變化與冷卻時間及保壓設定有關。 [6]  |

|        |      |   |
|--------|------|---|
| Lee    | 1994 | 混合 SAN 與 phenoxy polymer 進行射出實驗並以 SEM 觀察不同比例的混合的相變化，可以觀察到 SAN 比例較高時，邊界較不明顯，phenoxy 比例較高時則會有明顯的邊界產生，其結果為 SAN 比例較高時機械性質較佳，黏度較高，phenoxy 比例較高時機械性質較差，黏度較低。[7]                                       |
| Jansen | 1998 | 以不同成形條件進行七種不同的熱塑性塑膠（PC、PS、ABS、HIPS、PBT 1505、PBT3235、HDPE）的收縮實驗，其結果證明保壓變化是主要的因素，熔膠溫度次之，模溫及射速則影響不大。非等向性材料使用一簡單的熱彈模型及可預測其收縮程度，半結晶材料則較難預測。[8]   |
| Neves  | 1998 | 利用雙折射的測量方式測量PC材料的圓型碟片切面，發現有三種峰值特性，發現融膠溫度與射速影響雙折射的效果較明顯，搭配有限元素分析並依此來預測pc材質的圓盤機械特性並減少射出成形殘留的應力。[9]  |
| Huang  | 2002 | 以 PC 及 ABS 為成形材料，分別研究薄件射出成形在不同製程參數下對翹曲變形與殘留應力的影響，並以田口方法進行實驗規劃，最後再比對軟體模擬實作，發現模擬與實作結果並無太大差異，保壓壓力為影響翹曲變形最重要之因子貢獻度達 15.59%，其次分別為模具溫度、塑料溫度、保壓時間，而充填時間與澆口尺寸影響最小。另外提高融膠溫度和模具溫度及減小保壓壓力，可以有效降低成品殘留應力。[1] |
| Chen   | 2003 | 高分子熔膠微流道流動的流變性質做初步的研究。得知在微流道中流動時融膠的黏度相對於大尺寸流道會降低。[10]   |
| Viana  | 2004 | 在模溫30℃、50℃、80℃、100℃、120℃、150℃時並保持相同的其它射出參數，相變化與機械性質的關係，研究發現層相的發展與到達結晶溫度時間及高分子配向時間有關，模溫較高時分子配向程度較低，增加成形時初使結晶度。當結晶溫度時間大於分子配向時間因配向作用較弱則配向層較薄，反之則配向層較厚。[11]   |

|          |      |   |
|----------|------|---|
| Na       | 2005 | 由動態保壓來獲的混合了高密度聚乙烯與70%-80%等規聚丙烯的最佳的抗拉性質。[12]   |
| Li       | 2006 | 以固定比例 80/20 混合下列材質 iPP/aPP、iPP/POE、iPP/EPDM 與 iPP/EVA，經由動態保壓成形試驗，利用 SEM、2D WAX 與 Instron 材料試驗觀察混合材料的相型態、分子配向、機械性質與 iPP 各種材料之間的相容性，結果 aPP 與 iPP 相容性最佳，依次為 POE 與 EPDM，EVA 則完全不相容，相容性較高的材料會降低變形與分子配向，很可能是分子之間的交纏互相影響。[13]          |
| Layser   | 2007 | 使用 Vibration Assisted Injection Molding 的方式控制融膠的流動行為，可改善沿著試片厚度方向的分子配向與增加抗拉強度。[2]  |
| 范智翔      | 2008 | 以 PP、PMMA 作為材料，探討射出參數對微結構的充填性與其高次結構的組成的影響，並透過偏光顯微鏡作觀察分析。觀察發現 PP 成品的高次結構，由模壁至內部依次為固化層、剪切層與核心層不同相的高次結構，截面的厚度約呈現 1:2:4，如圖 2-4。保壓壓力有助於密實充填微結構的成形。模具溫度的提升，也有助於成品內結晶的生成。因 PMMA 分子支鏈較 PP 大，所以黏度大於 PP，因此在微射出成形過程中，PMMA 會比 PP 來的難成形。[14] |
| 陳正剛      | 2008 | 以 PP 與 PMMA 做為材料，應用模流分析的結果比較流變行為差異，並與范智翔[13]之結果作為比較。發現冷卻速率、剪應變率與材料的結晶有相當大的關聯性，塑料貼近模壁部分溫度急速下降，流動性變差形成固化層。鄰近固化層的塑料受到流動時剪應力的作用產生剪切層，如圖 2-6。模穴中央部分溫度最高，受到的剪切應力最小則稱為核心層。提高射出壓力讓微結構充填深寬比上升，但結果不如提高模溫的明顯。當射出壓力提高時，使得模穴內的壓力及剪應變率上升。[15] |
| Murakami | 2008 | 利用拉曼光譜來分析 PC 在微結構射出元件內的分子配向性。針對截面上固化層和核心層的光譜做一比對，定義在拉曼位移在 635 和 703 $\text{cm}^{-1}$ 的峰值比 ( $I_{635}/I_{703}$ )，發現固化層峰值比  |

|        |      |  |
|--------|------|--|
|        |      | 高於核心層的峰值比，是因為塑料先接觸模壁冷卻後還來不及鬆弛就被定向。又將峰值比與各射出參數的轉寫率作比較，發現模溫為影響分子配向最大的因子，這篇研究主要探討如何有效控制射出條件來得到高轉寫率和低的分子配向性。<br>[16] |
| Martin | 2010 | 等人利用不同厚度的工件發現表皮層（凝固層）的厚度受到剪切力因模穴的影響而有不同，表皮層的厚度與工件的厚度成反比，並使用拉曼光譜的峰值比定義出不同厚度表皮層的官能基變化。[17]                         |

## 2.2 塑膠射出成形翹曲文獻回顧

2001年陳[18]藉由模流分析軟體及數值解析方式研究不同的製程參數對成形品表面凹痕及翹曲變形影響。量測方面使用雷射掃瞄儀及三次元表面粗度儀檢測成形品，將量測結果與模擬值作比較，發現模具溫度為影響翹曲變形的最主要因素，當模具溫度降低，塑料溫度增加時，模溫與料溫之溫度梯度增大，能減少板肋的表面凹痕。

2005年陳[19]針對設出成形參數對雙面微溝槽Fig2-17的成形率的影響。研究結果顯示微溝槽成形率主要影響因素為模溫，次要因素為射速，而不同位置的微溝槽成形率會因射速的不同而有差異

2007年張[20]設計製造一光源之光學均勻器，用迴歸分析法，探討不同的射出成形製程參數對於體積收縮、軸向收縮與光學均勻性之影響。



2008年林[3]研究功能按鍵之彈臂斷面設計Fig2-18與射出成形最佳化，運用田口法與模流分析軟體並實際開模，對成品施作疲勞測試以驗證並找出同時具備最佳成形條件為保壓壓力150MPa（射壓125MPa之120%）、模溫90℃與最佳抗疲勞強度之彈臂高度為0.85mm。

表2-2 射出成形翹曲參考文獻

| 作者  | 年代   | 內容  |
|-----|------|---|
| 陳宜正 | 2001 | 藉由模流分析軟體及數值解析方式研究不同的製程參數對成形品表面凹痕及翹曲變形影響。發現模具溫度為影響翹曲變形的最主要因素，當模具溫度降低，塑料溫度增加時，模溫與料溫之溫度梯度增大，能減少板肋的表面凹痕。[18]                        |
| 陳永坤 | 2005 | 設出成形參數對雙面微溝槽的成形率的影響。研究結果顯示微溝槽成形率主要影響因素為模溫，次要因素為射速，而不同位置的微溝槽成形率會因射速的不同而有差異。[19]  |
| 張鮮文 | 2007 | 設計製造一光源之光學均勻器，用迴歸分析法，探討不同的射出成形製程參數對於體積收縮、軸向收縮與光學均勻性之影響。[20]   |
| 林政佑 | 2008 | 研究功能按鍵之彈臂斷面設計與射出成形最佳化，運用田口法與模流分析軟體並實際開模，對成品施作疲勞測試以驗證並找出同時具備最佳成形條件為保壓壓力 150MPa（射壓125MPa 之 120%）、模溫 90℃ 與最佳抗疲勞強度之彈臂高度為 0.85mm。[3] |

## 2.3 文獻回顧總結

由高分子的配向性文獻回顧可得知高分子的特性受其分子量的

大小、分子量的分布、分子結構及分子鏈長度等微觀特性影響極大，因此在討論高分子流變時除了巨觀特性外也應同時了解其分子結構間的關係，如此才能解決塑膠的加工問題。

另外由射出成形文獻中可得知，可能影響收縮翹曲量的射出成形參數為，保壓壓力、保壓時間、模具溫度、融膠溫度、冷卻時間等等，適度提高以上參數可以有效降低成形品的收縮翹曲量，但過大的保壓壓力會造成成形溢料與殘留應力增加的問題，而充填時間與澆口尺寸對翹曲量的影響最小。



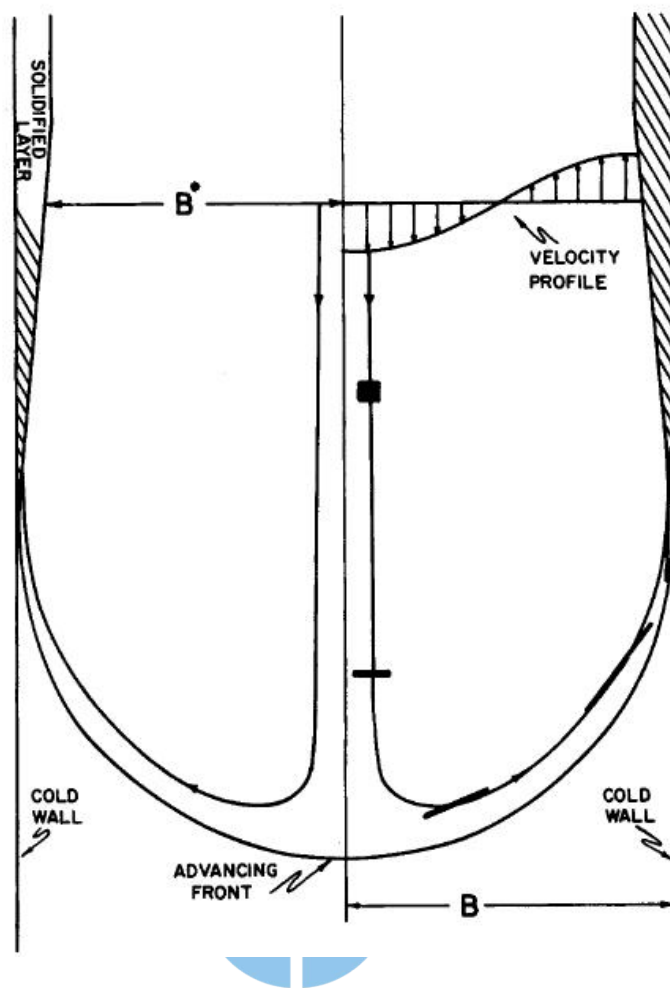


Fig 2-1 噴流泉現象示意圖[4]



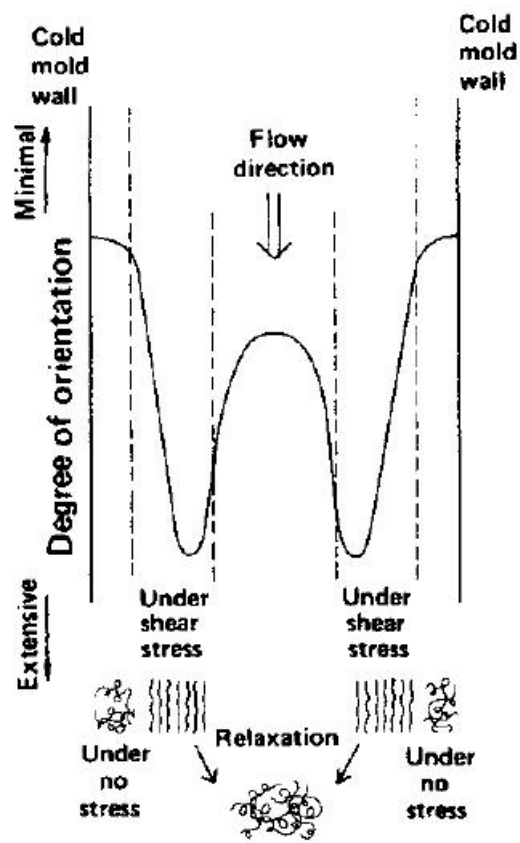


Fig 2-2 高分子在模穴的配向行為[5]

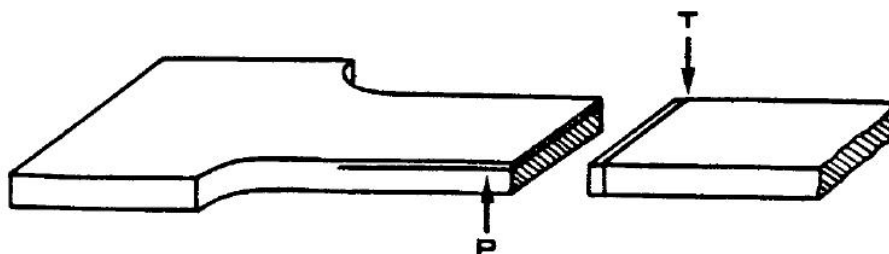


Fig 2-3 試片斷面示意圖[6]

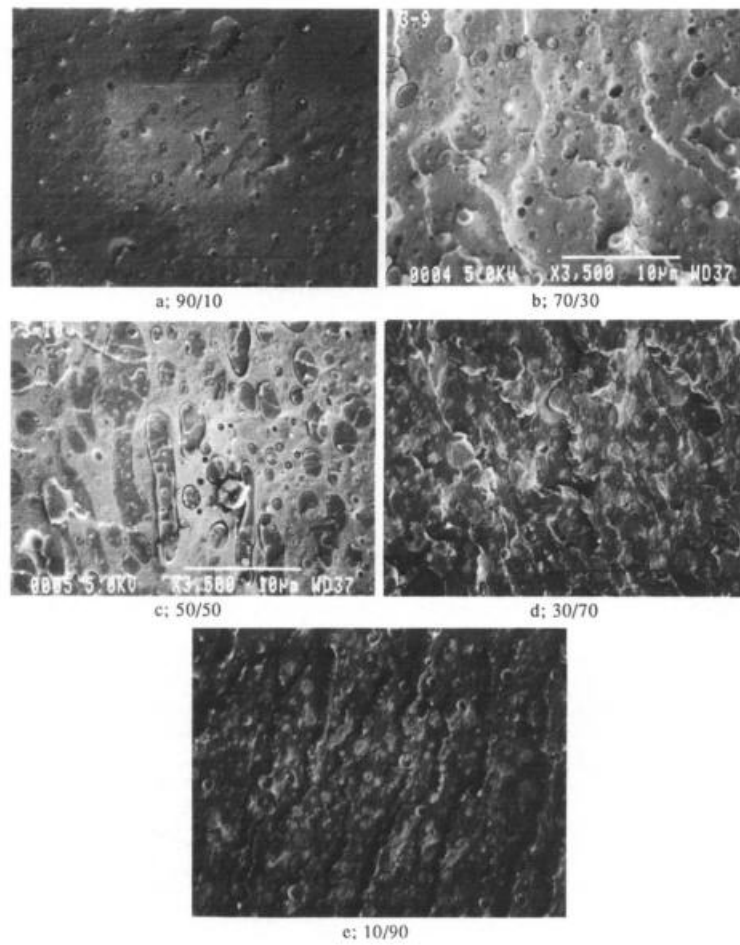


Fig2-4 不同比例之SAN/phenoxy polymer[7]

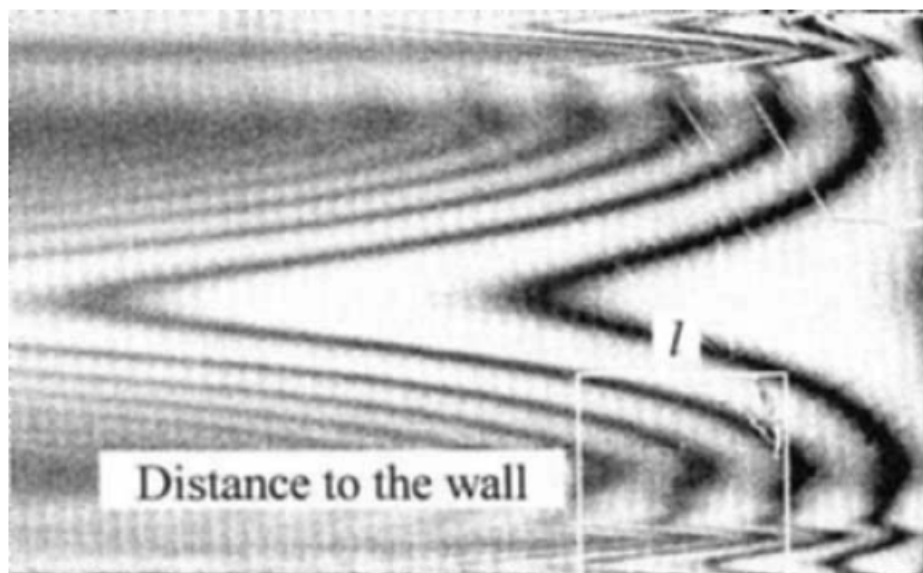


Fig 2-5 雙折射的測量圖形[9]

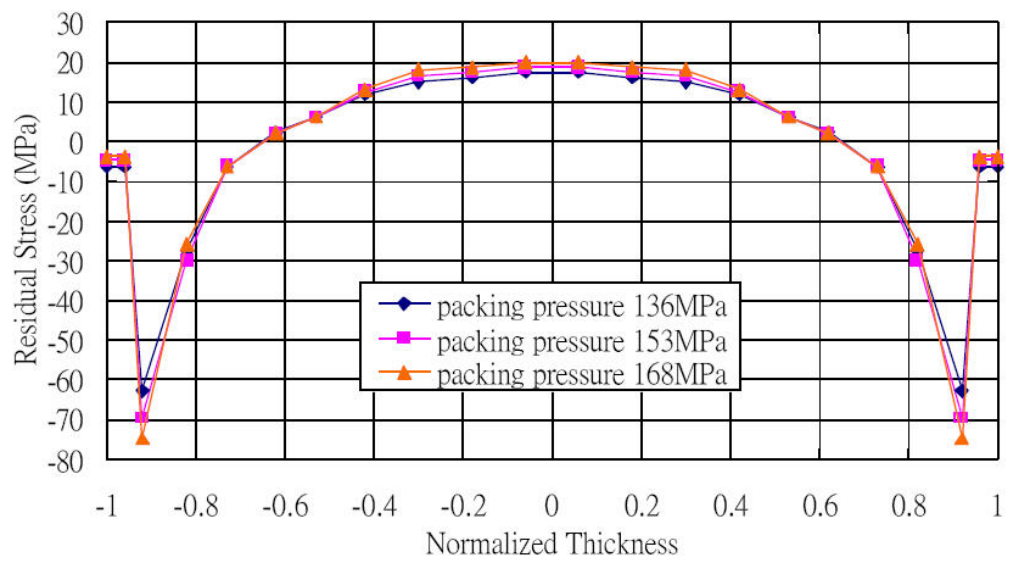


Fig 2-6 不同保壓壓力對厚度方向的殘留應力影響[1]

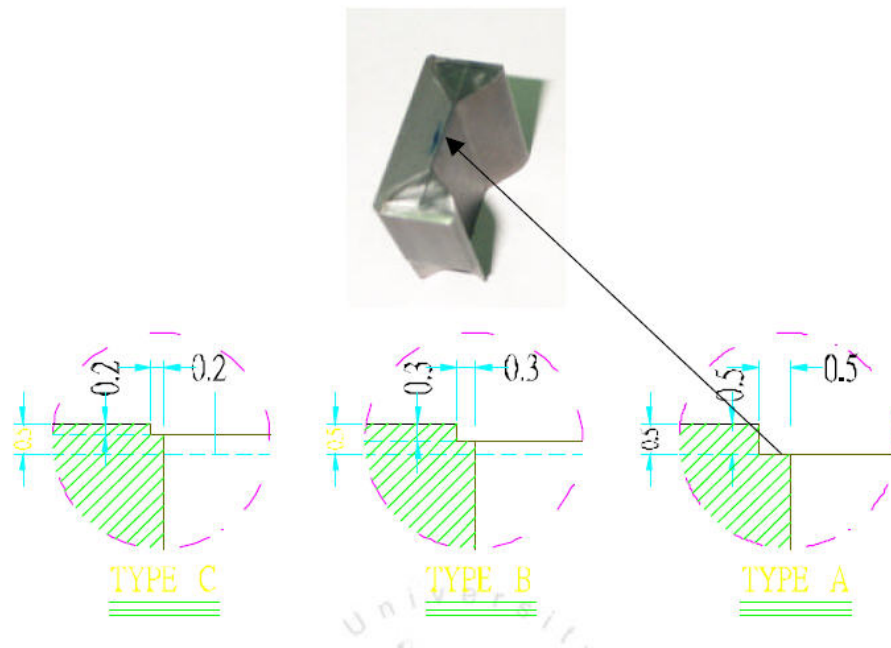


Fig 2-7 微流道入子圖[10]

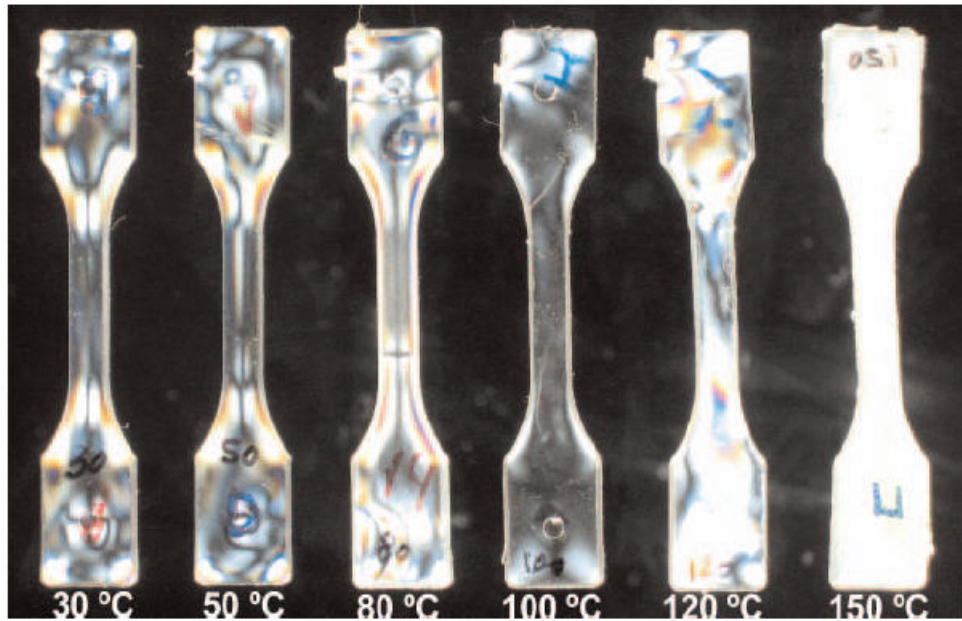


Fig2-8 PET在不同模溫的成形試片[11]

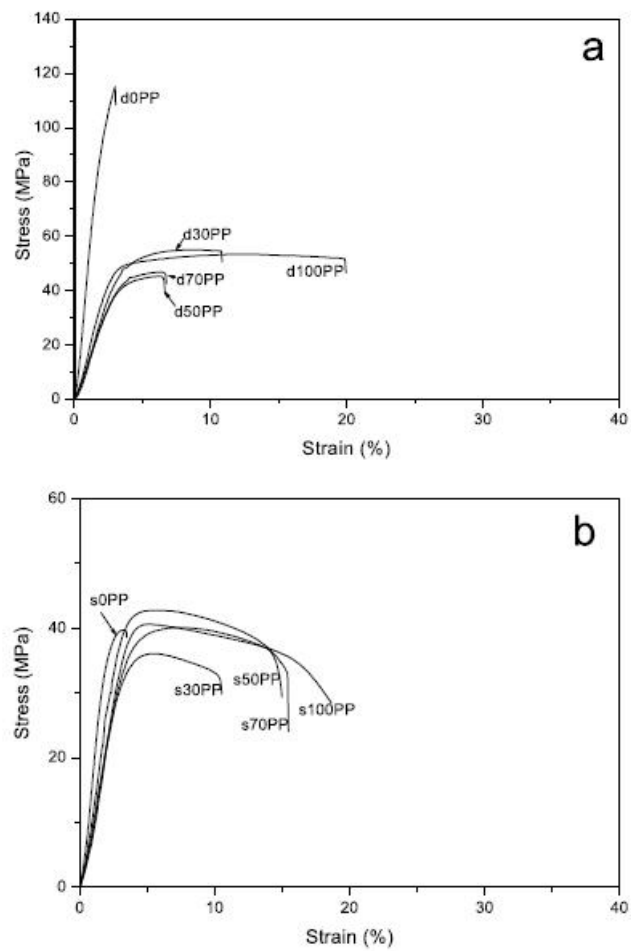


Fig 2-9 a為動態保壓，b為靜態保壓[12]

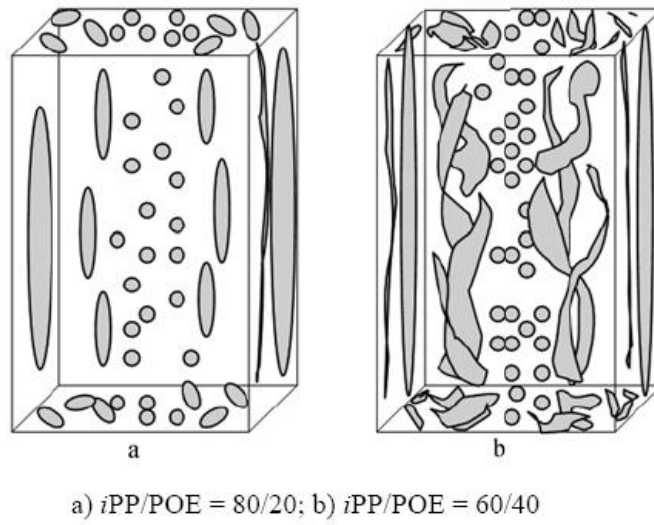


Fig2-10 iPP/POE的3D相型態圖[13]

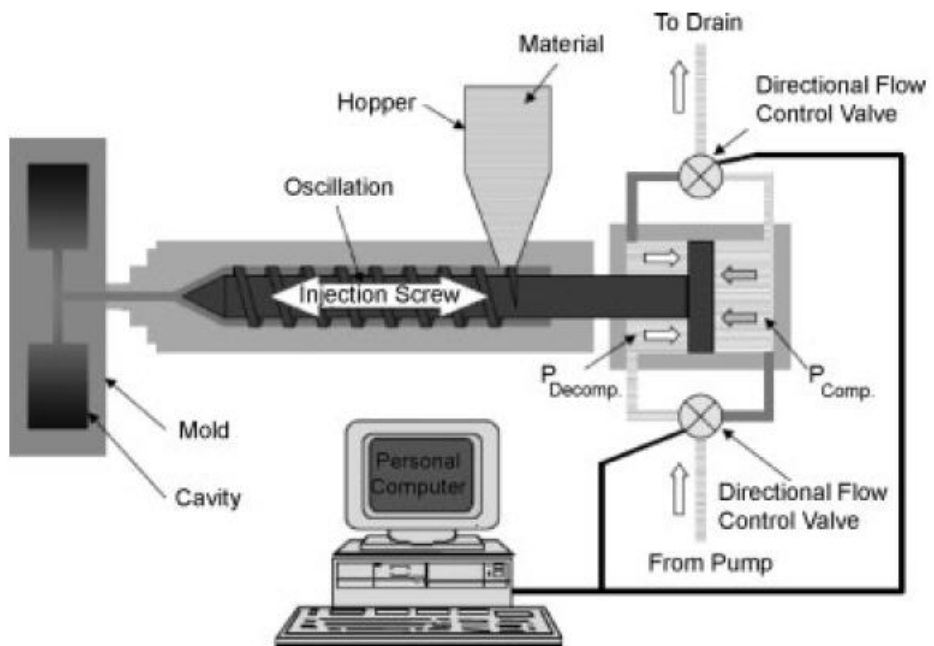


Fig 2-11 VAIM射出成形示意圖[2]



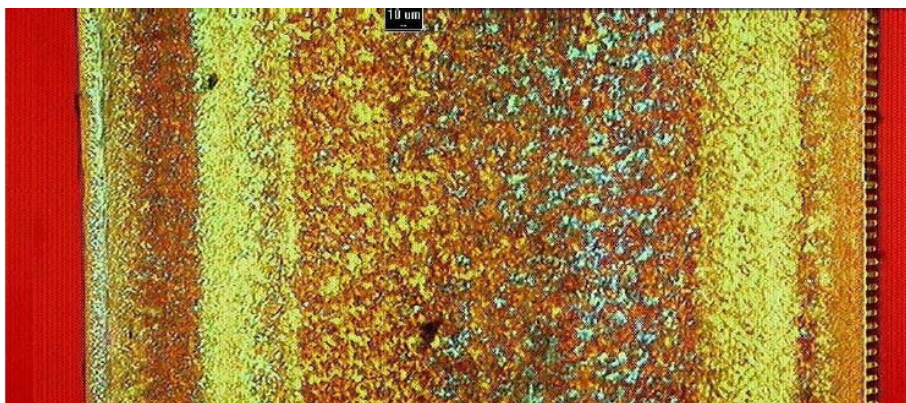


Fig2-12 PP在偏光顯微鏡下顯示三種層向[14]

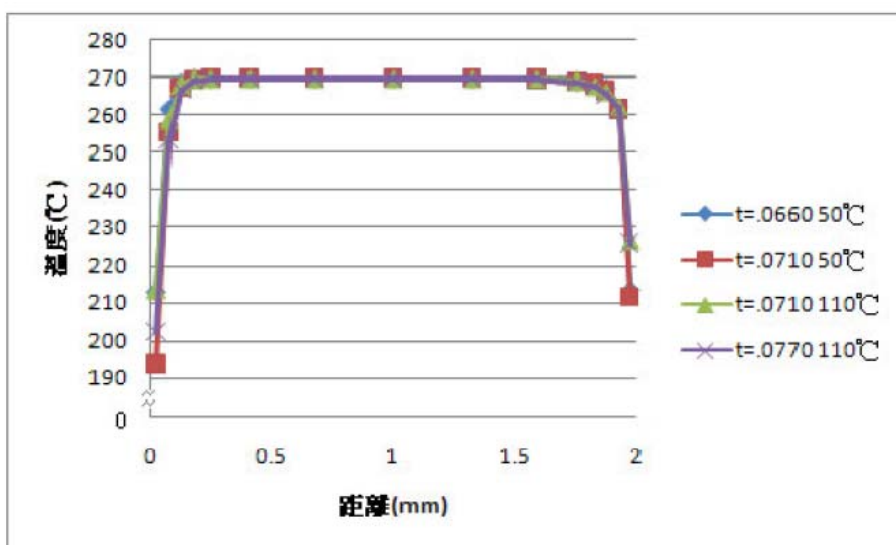


Fig2-13 PP塑料在充填時模穴的厚度方向溫度變化[15]

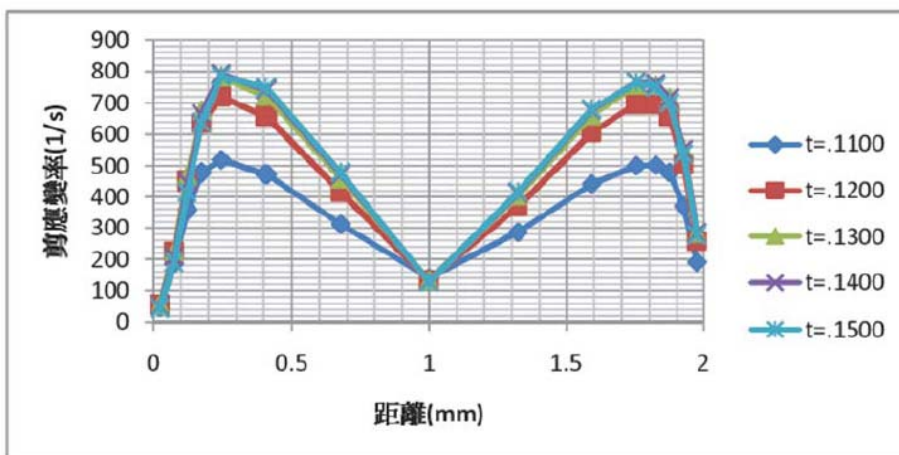


Fig2-14 PP塑料在充填時模穴的厚度方向剪應變率分佈[15]

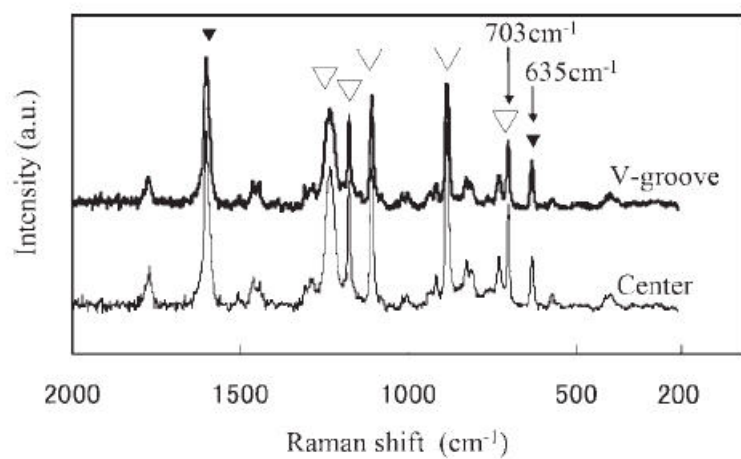
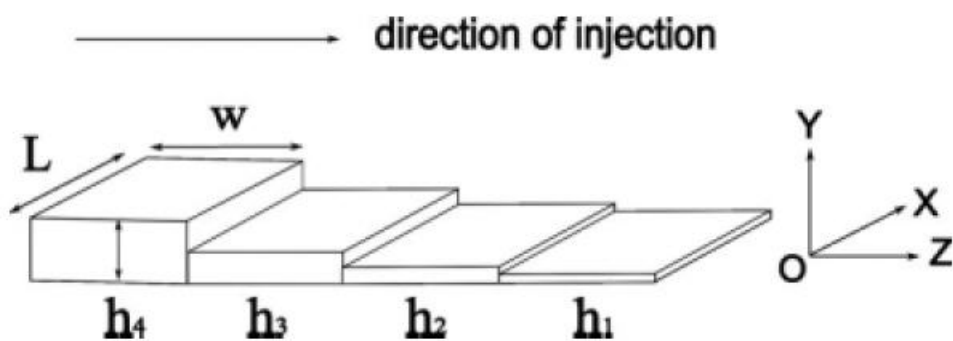


Fig2-15 PP的拉曼位移[16]



The four rectangular injection-molded plates considered in this study and characterized by different thicknesses  $h$ :  $h_1 = 0.5$ ,  $h_2 = 1$ ,  $h_3 = 2$ , and  $h_4 = 4$  mm.

Fig2-16 不同厚度的工件[17]

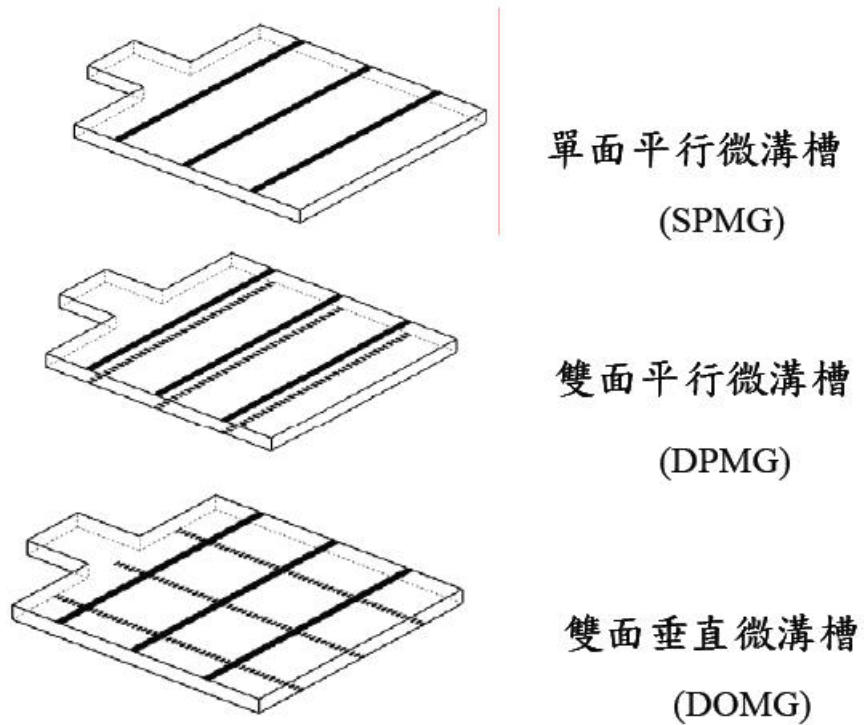


Fig 2-17 導光片上的雙面微溝槽[18]

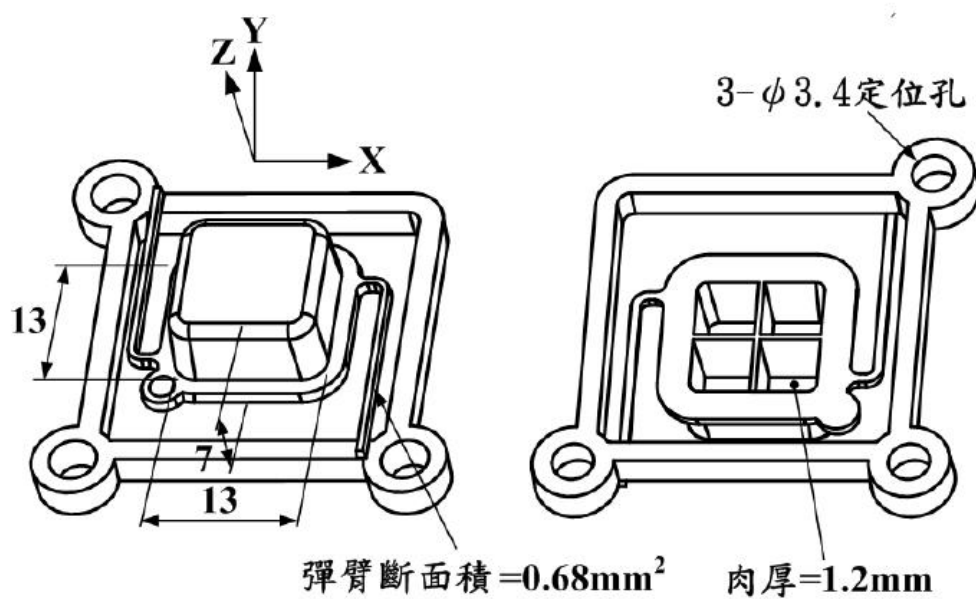


Fig 2-18 彈臂斷面示意圖[3]



## 第三章 射出成形高分子特性與實驗原理

射出成形過程中，塑膠粒經過擠壓、加熱熔融後，在極短時間內即可充滿模穴，此時熔膠會以高剪切速率狀態下射入較冷的模穴，因此熔融流體與模穴表面接觸部份開始冷卻固化，形成固化層，此固化層會影響流體流動應力的鬆弛現象，導致有殘留流動應力發生。高分子熔融塑料經歷了複雜的溫度、壓力與剪切應力等相變化過程經歷，其本身的機械性質、熱性質與光學性質也隨之產生複雜的變化，本章節將針對高分子的特性、射出成形對高分子特性的影響做說明。

### 3.1 高分子性質的概念



高分子（Polymer）表示一群小單元結合成巨大單元的意思。引用到高分子領域，即是一群較小分子量的分子，鍵結成高分子量的巨大分子，而這些小單位之分子稱做“單體”（monomer）[\[21\]](#)，巨大分子就是高分子或聚合物，透過原子間的共價鍵鍵結而成的高分子量物質，依據不同的鍵結機制與結構單元將可產生其獨特的特性。一般來說，高分子物質依據其受熱後的特性可分為兩大類[Fig3-1](#)：熱塑性塑膠與熱固性塑膠，熱塑性塑膠因結晶程度的不同又可分為不定形（Amorphous）與結晶形（Crystalline）。

#### 3.1.1 熱塑性塑膠（Thermoplastic）

在一般射出成形的產品的大多採用熱塑性塑膠，加熱後塑料會軟化或熔解，並能流動成形；透過冷卻，分子鏈歸位，使高分子回復成固態特性，因此具有加熱軟化、冷卻硬化並可重複發生的特性。如前述之熱塑性塑膠因結晶程度的不同又可分為不定形塑料與結晶形塑料。


不定形（非結晶性）塑料並無非常明顯之熔點溫度，只有一個較大的軟化範圍，其分子排列無論相變化如何，分子都是以不規則、非結晶之方式排列如Fig3-2-1[22]，所以非結晶性塑料其收縮率較小。且具有玻璃轉換溫度（ $T_g$  Glass Temperature Transition）這一特質，低於此溫度時，不定形高分子呈現脆性玻璃態（Glass state）；當溫度提升，大於玻璃轉換溫度時，分子鏈脫離束縛，開始自由活動，此時不定形高分子開始從玻璃態轉化成橡膠態（Rubbery state），呈現熔融可流動性。

結晶性塑料在分子鏈排列上較規則如Fig3-2-2，具有較強的結晶性質，所以在玻璃轉換溫度尚未能溶解結晶形高分子，唯有溫度上升至熔融溫度（ $T_m$ , Melt Temperature）後，才可將這類物質熔解；而結晶性塑料之比容，在定壓下會因熱膨脹(Thermal Expansion)隨溫度增加而增加；在定溫下會因壓縮效應(Compressibility Effect)隨壓力增加而降低，而結晶性塑料從熔融狀態冷卻至玻璃轉換溫度這期間，分子

鏈開始有規則性之排列動作，因此塑料比容呈現階躍式變化(Step Change) Fig3-3，所以收縮率較非結晶性塑料大。

由結晶條件可約略判斷一些高分子的結晶性，譬如分子鏈的構造越規則排列越對稱，有足夠的驅動力促使分子鏈排到結晶格子，則形成結晶性高分子。於結晶格子中又需克服分子的熱運動，使分子鏈不致再跑出結晶格子，兩者之作用往往互相牽制，譬如溫度升高時容易填入結晶格子，但相對增加亂度之效應，促使分子鏈逃脫結晶格子，最後會達成一平衡狀態，亦可由此觀點看結晶性對高分子的影響。

### 3.1.2 熱固性塑膠 (Thermoset)



指具有加熱後固化及不可溶解、不融化特性的塑料。此塑料在加工前是液體狀態，透過加熱鍵結等反應後，高分子內部的分子鏈會交鏈形成三度空間的固體結構，成形之後具有即使再透過加熱或加壓的手段，也無法使其回復其原本狀態的特性，顯示出所謂的非可逆變化，是分子構造發生化學變化所致。

## 3.2 影響射出成品材料性質的因素

射出成形技術是將熔膠加壓後充填至模穴的成形方式。常用的射出方法如 Fig3-4 是將塑膠原料放入料管內，經過料管的加熱、壓縮、剪切、混合和運送作用後，使塑料進行融合和均勻化，經過適當

的冷卻與保壓時間後，再由頂針頂出成形製品，透過重複這些週期性的步驟，可快速且大量的生產。藉由瞭解塑膠的加熱熔解與冷卻固化的特性，及其在熔融態的流變性質，對於射出成形的充填行為有極為重大的影響。

### 3.2.1 充填速率的影響

充填速率決定流體局部剪切率大小及熱塑料補充速率，因此影響充填的行為。高速充填時剪切率較高，塑料由於剪稀薄特性（Shear Thinning）[23]而有黏度下降的情形，使整體流動阻力降低。由於黏滯熱影響亦使固化層變薄。

低速充填時，剪切率較低，局部黏度較高，流動阻力較大，由於熱塑料補充較慢，流動較為緩慢，熱量較易被冷模壁帶走，熱傳效應較明顯，加上較少量的黏滯加熱現象，因此固化層較厚，也進一步增加肉薄處的阻力。

### 3.2.2 保壓機制的影響

當塑料充填滿整個模穴時充填過程即結束，開始進行保壓過程，此時塑料尚未固化，模穴內熔膠仍有流動，模內壓力也會繼續提升，因此藉由螺桿的進給會提供一保壓壓力，用以繼續維持模穴內充填的壓力。此外由於模溫的影響，高分子塑料體積會受熱膨脹；至冷卻時體積開始收縮。此時提供的保壓壓力具有抑制膨脹的功用，彌補此一收縮行為的發生，使熔融塑料能繼續充填入模穴當中，密實成形品的

結構，減少產品冷卻後的收縮效應。射出成形的保壓過程中，最重要的因子是保壓壓力與保壓時間，兩者皆會對凝固點及成形品收縮率有明顯的影響[1]：提高保壓壓力，有助於縮小成形品的收縮率，但卻有可能會發生過度保壓的效應，使成形品內部殘餘應力增加；但若保壓壓力太小或保壓時間太短，則不能密實充填成形品較細微結構的特性，也會導致在冷卻收縮階段產生大幅收縮的現象，影響製品的精密尺寸。

### 3.2.3 冷卻機制的影響

一般而言，射出成形機的冷卻機制耗時最長，約佔整個循環過程時間的70~80%，並可使成形品各部分均勻冷卻，防止產品因熱應力所造成之收縮與翹曲等缺陷產生[18]。由於射出成形的冷卻時間很長，除了增加成本之外，也會影響成形週期、成形品精密尺寸與品質。所以適當的冷卻時間與水路的安排，為射出成形模具設計的重要項目。

## 3.3 高分子構造與分子配向性的關係

除了透過上述方式去瞭解射出成形的外部參數設定，進而去操控成形製品的成形品質之外，高分子內部的結構特性更是決定成形品的物理性質與機械性質的主要關鍵。高分子結構可依據內部的分子鏈排列方式、排列規律性、分子結晶程度與分子的配向性去判斷一成形

製品的性能。所以透過分析成形品的分子間鍵結力、分子結構與分子堆積等特性，將有助於瞭解成形過程時的結構變化，以更進一步去控制成形製品的性能。

高分子塑料在加工過程中，在力的作用下，流動的大分子鏈段會沿力的方向配向（Orientation）[4]，在充填時，熔膠射入模穴時，塑料首先會與較冷的模壁接觸而急速的固化，產生來不及形成取向的固化層外殼。而新的熔融塑料將沿著不斷增長的固化層內壁向前流動，推動波前鋒向前移動，而形成所謂的『噴泉效應』（Fountain effect），如Fig2-1。由於『噴泉效應』的作用，而在靠近中心層剪切作用力最小，配向也最小，形成小配向層Fig3-5。此外還必須考慮到高分子物質的黏彈性質，高分子在一溫度下已受應力配向的分子鏈會產生鬆弛（Relaxation）的過程：非結晶形高分子的分子鏈會除去外來應力而重新捲曲；結晶形高分子會發生二次結晶，而造成成形製品的收縮，導致收縮率與分子鏈的配向程度成正比。射出成形的參數條件對分子配向也有極為重大的影響，舉凡：熔融溫度與模具溫度的提升都會使配向效應降低[11]。因為溫度升高會使黏度降低，使分子鏈更易於排列，有利於高分子的取向效應；但提升溫度的同時，會造成冷卻時間增長，冷卻速度變慢，鬆弛時間加長分子鏈容易彈回捲曲，使配向效果減低。



### 3.4 拉曼光譜分析法的原理與觀察

在彈臂搭接處的高分子結構觀察部份，以拉曼光譜分析法 (Raman Spectroscopy) 來比對不同成形參數對高分子配向性的影響。

拉曼光譜分析法是利用輻射與被物質散射所產生的光譜，來研究物質分子結構及定性的一種分析法。當光束照射到一個樣品(分子或晶體)時，光子會與分子碰撞，除了動量有改變外，也可能有能量交換。前者改變了光子進行的方向，向四方散射如Fig3-6-1；後者改變光子的能量，頻率(波長或波數)升高或降低。此即為拉曼散射(Raman scattering)，屬於非彈性碰撞。其分子的能量變化公式 (3.1)

如下：

$$\Delta E = h(\nu - \nu') \quad (3.1)$$



其中 $h$ 為蒲朗克常數； $\nu$ 為入射光頻率、 $\nu'$ 為散射光頻率

如果只有動量改變，沒有能量的交換，也就是光的頻率不變，是為瑞立散射(Rayleigh scattering)。屬於彈性碰撞。收集散射光可得到一光譜，包含瑞立散射及拉曼散射。一般光譜以頻率或波長表示。拉曼散射只是測量光子能量的改變，也就是入射光與散射光子的頻率差，以波數 $\sigma$  (wave number單位為 $\text{cm}^{-1}$ )的改變來表示，即為拉曼位移 $\Delta\sigma$  (Raman shift)。拉曼位移 $\Delta\sigma$ 與能量差 $\Delta E$ 的關係如下公式 (3.2) 所示：

$$\Delta\sigma = \sigma(\text{雷射光子能量}) - \sigma'(\text{散射光子能量}) \quad (3.2)$$

$$= \Delta E/hc$$

其中c為光速

以上可知拉曼散射是入射光子將分子自始態 (initial state) 經虛態 (virtual state) 後散射一個光子，回到終態過程如Fig3-6-2，此過程可用偏極化性 (Polarizability)  $(\alpha_{\sigma\rho})_{FG}$  來表示。散射光強度 (Intensity) 下公式 (3.3) 所示：

$$I_s = \frac{8\pi\omega_s^4 I_L}{9c^4} \sum_{\sigma,\rho} |(\alpha_{\sigma\rho})_{FG}|^2 \quad (3.3)$$

由此公式可知譜線強度與散射光的角頻率 $\omega_s$ 的四次方、入射光強度 $I_L$ 與偏極化性 $(\alpha_{\sigma\rho})_{FG}$ 的平方成正比。

對於同一物質如使用不同頻率的入射光照射，會產生不同的拉曼散射光譜，但其拉曼位移為一確定的值，這是利用拉曼散射光譜進行物質分子結構分析及定性鑑定的依據。拉曼光譜可適用於測定有機分子的骨架，通過官能基的拉曼位移測定，可判斷化合物中具有官能基。由於官能基不是孤立的，不同的分子中的同一官能基之拉曼位移是有一定的差異而不是一固定頻率，是在某一範圍內變動。

拉曼光譜光源須要散射光較強所以一個固定頻率、且頻寬很小的強雷射光源。常用的氬離子雷射(Argon ion)的光波長有488.0及514.5 nm。一般選用514.5 nm的綠光，與紅光相比因頻率較高，散射光較強；



同時測定器在藍綠光處也比較靈敏。此雷射光經聚焦，照射於樣品。散射光亦須聚焦，經光譜儀分光，而後由測定器測定。拉曼光譜儀的基本組件包括：幅射光源、樣品照射系統、單色器、偵測器及記錄器如Fig3-6-3。

### 3.5 彈臂搭接處的殘留應力量測

射出成形件會產生殘留應力，一般量測殘留應力可分破壞性檢測與非破壞性檢測，本研究採取的應力偏光儀分析是屬於非破壞性的檢測。應力偏光儀是利用光彈法(Photo-elasticity method)的一種光學式之全域性應力量測方法，它主要是檢測透明之材料，如玻璃、壓克力，利用偏極光(Polarized light)及雙折射(Birefringence)現象檢測產品中的殘留應力之分佈情形。

光彈光場示意圖見 Fig3-7，量測時將待測物至於偏光鏡(Polarizer)與分析鏡(Analyzer)之間，使用白光光源，當待測物內部存在殘留應力時即產生光彈條紋，而依據光彈條紋的多寡及顏色的分佈來判斷殘留應力的集中程度。

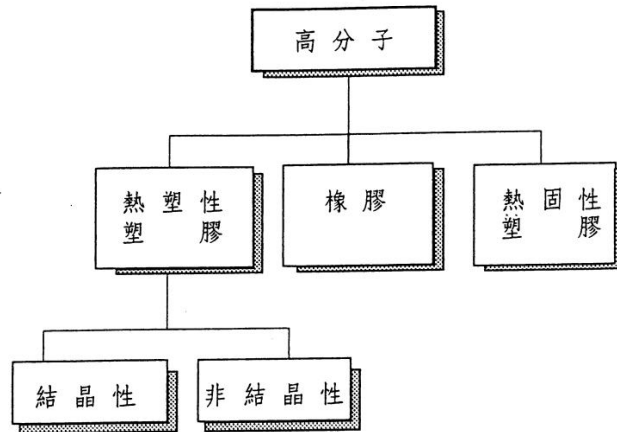


Fig 3-1 高分子依溫度分類[24]

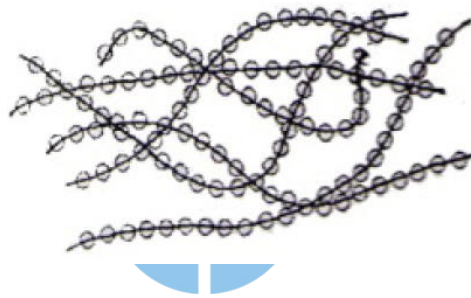


Fig 3-2-1 不定性分子鏈分佈[22]

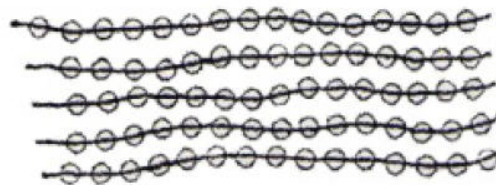


Fig 3-2-2 結晶性分子鏈分佈[22]

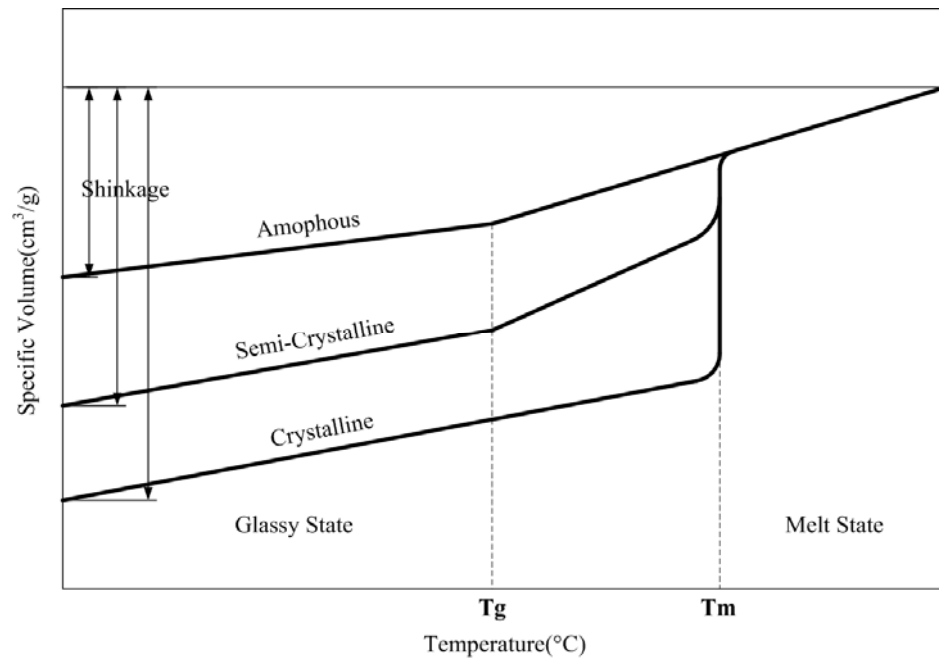


Fig 3-3 比容與溫度關係圖[20]



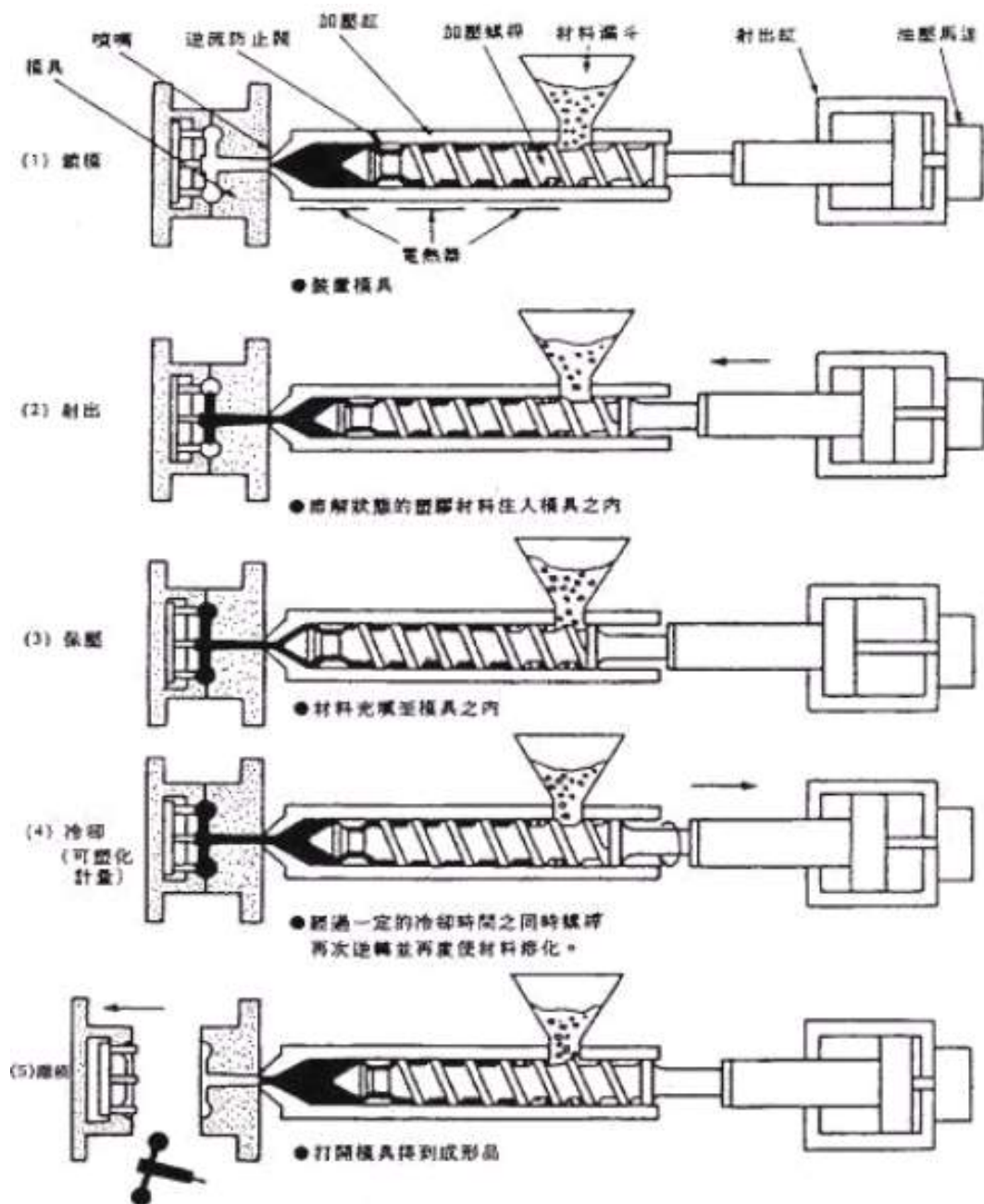


Fig3-4 射出成形週期示意圖[22]

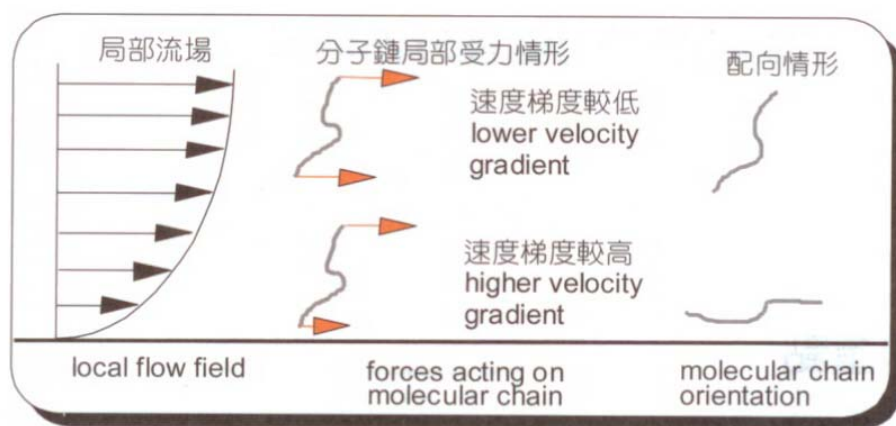


Fig 3-5 分子鏈配向性受外力影響[25]

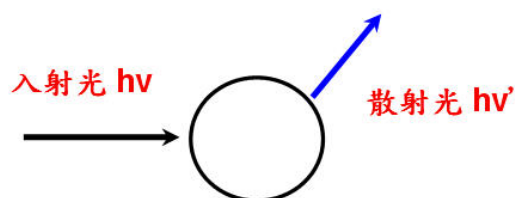


Fig3-6-1 拉曼散設機制[26]

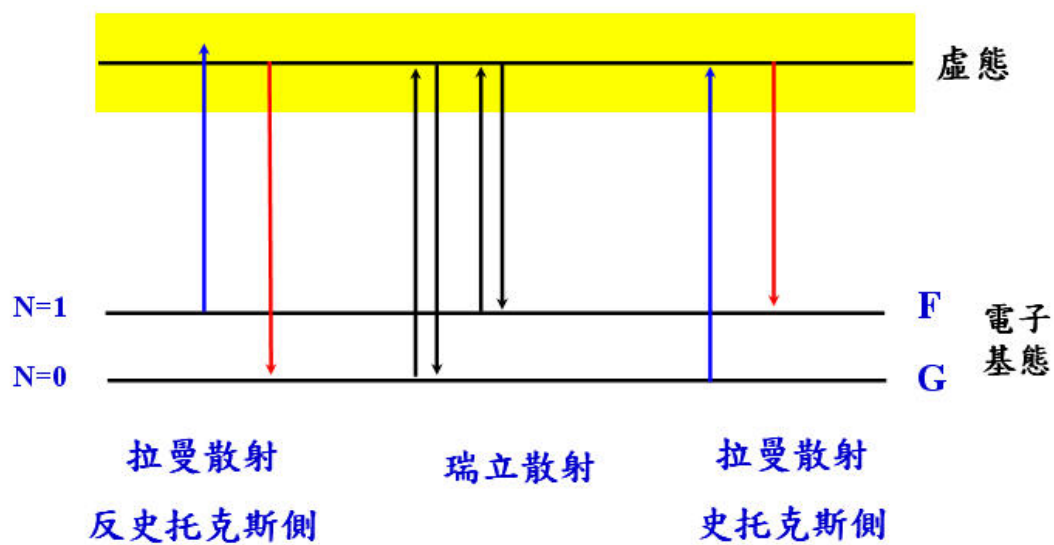


Fig3-6-2 瑞立及拉曼散射過程[26]

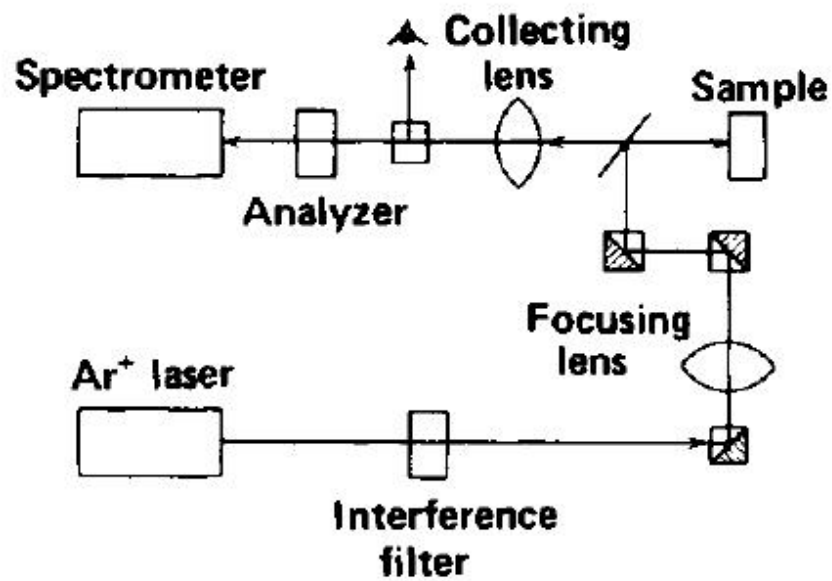


Fig3-6-3 拉曼光譜儀[5]

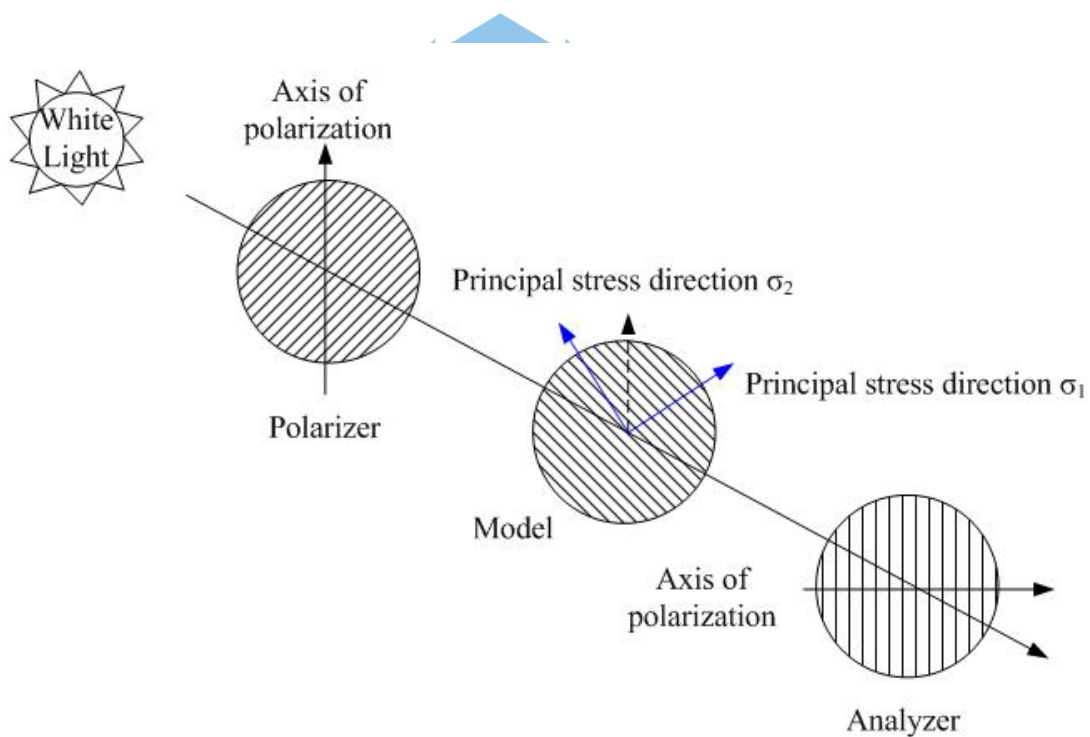


Fig3-7 光彈光場示意圖

## 第四章 實驗設備與實驗設計

### 4.1 實驗設備

此節介紹射出成形實驗時所需之設備，主要有全電式射出成形機、實驗模具、模溫控制設備、烘料機與本實驗使用的塑膠材料及其特性。

#### 4.1.1 全電式射出成形機

本實驗使用之全電式射出成形機為日本 *FANUC* 公司所生產，形號為 *Roboshot α-15ia*，如 Fig 4-1 所示，全電式射出機之螺桿直徑為 16 mm，最大射出量為 40 cm<sup>3</sup>，射出機最大行程為 56 mm，最大鎖模力可達 15 噸；全電式射出機之鎖模、充填、旋料及頂出等系統均由獨立伺服所控制，許多動作皆可自動控制，因此可以縮短成形週期。螺桿位置控制精度可達 0.01 mm，速度控制精度達 0.1 mm/s；在充填階段控制器提供十段射出速度控制，每段最高可達 200 mm/s；保壓階段控制器提供六段射出速度控制，每段最高可達 220 MPa。機台規格如附錄 A 所示。

#### 4.1.2 實驗模具

本實驗模具為林[3]設計的三板形針點進膠模具，採用一模兩穴的設計，A 穴為一般慣用之彈臂高度設計 1.0 mm，B 穴為田口法配合模流分析之結果，彈臂高度值 0.85 mm，成品尺寸為 13 mm×13

mm×7 mm 之薄殼件，按鍵表面平均肉厚 1.2 mm，成品 3D 示意圖如 Fig 4-2 所示。公母模仁如 Fig 4-3 所示，循環冷卻水路相同由反操作側進出，公母模入子材質為大同-NAK80，其洛氏硬度值(H<sub>R</sub>C)約在 36-45 之間，雜質非常少且鏡面研磨性佳，為一般外殼件常用鋼材，機械性質如附錄 B 所示。實驗用模具則如 Fig 4-4 所示。

#### 4.1.3 模溫機

模溫機為科基公司所生產，如 Fig 4-5 所示，所使用的導熱媒介為水，因此最高模溫以 100 °C 為上限。一般的射出成形製程中大多使用固定模溫系統，即利用自動控溫的模溫控制機，來控制通過模具冷卻管路的水溫或油溫，使模具的溫度控制在製程所需的設定溫度。另外為了更精準地監測模溫的變化，在母模仁側面加裝一 K type 熱電偶之溫度感測器 (K type themal couple)，如 Fig 4-6 所示，外接至 Thermometer，安裝方式如 Fig 4-7 所示。

#### 4.1.4 烘料機

塑膠材料會吸收空氣中的水分子，若在進行射出成形實驗之前未進行塑料烘乾的動作，可能會使的成品產生氣孔或銀紋等外觀缺陷；所以在進行射出實驗之前就必須進行塑料烘乾動作，以避免塑膠粒因含水量高而影響材料特性，對品質的穩定性有很重要的影響。本實驗使用的塑膠材料需預先以 80°C 持續烘乾 8 小時以上。實



驗使用信易牌烘料機，如 Fig 4-8 所示。

#### 4.1.5 塑膠材料

本實驗選用兩種不同的的塑膠材料，分別為不定性(Amorphous)的 ABS 塑膠與結晶性的聚丙烯 PP。

ABS 塑膠採用台灣奇美公司 (Chi Mei) 所生產，形號為 PA-758，透明級材料，透光率 89%，玻璃轉換溫度 ( $T_g$ ) 約在 105 °C，融膠溫度範圍約在 230 °C~250°C 之間。ABS 塑膠是丙烯腈 (Acrylonitrile)、丁二烯 (Butadiene)、苯乙烯 (Styrene) 三種單體的接枝共聚物，分子結構圖[27]如 Fig 4-9 所示。塑膠材料如 Fig 4-10 所示，pvT 圖如 Fig 4-11 所示，剪黏度如 Fig 4-12 所示，物質特性如附錄 C。

聚丙烯 PP 採用日本 JPP (Japan Polypropylene Corporation) 公司生產，形號為 MG3FTA，半透明狀，軟化溫度 86°C。分子式  $C_3H_6$  結構圖[27]如 Fig 4-13 所示，聚丙烯的分子式由三個碳原子組成，其中兩個碳原子在主鏈上，一個碳原子以支鏈的形式存在。塑膠材料如 Fig 4-14 所示，pvT 圖如 Fig 4-15 所示，剪黏度如 Fig 4-16 所示，物質特性如附錄 D。



Fig 4-1 FANUC  $\alpha$ -15iA 全電式射出成形機

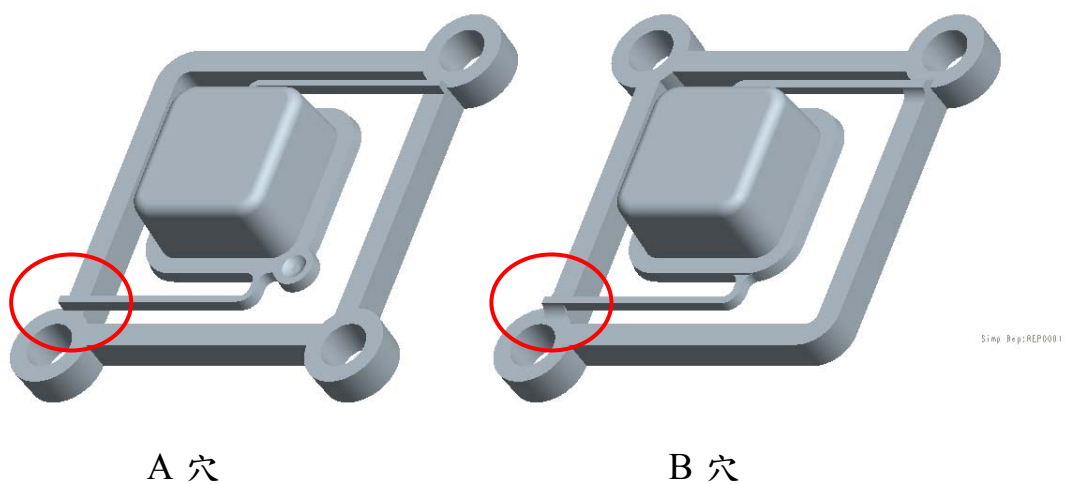


Fig 4-2 成品 3D 示意圖

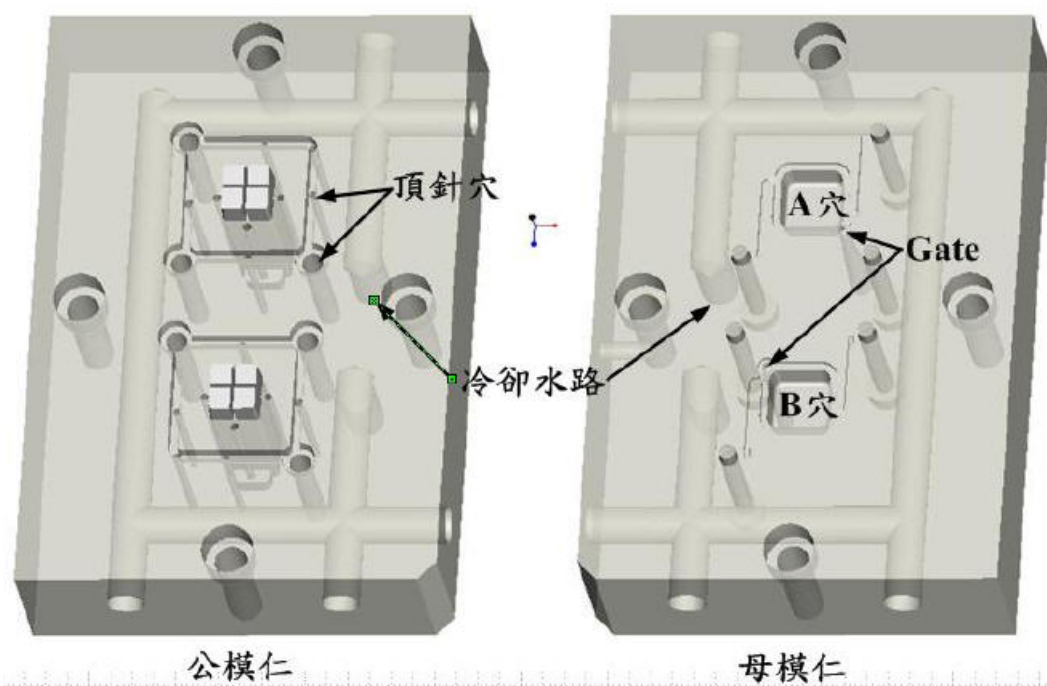


Fig 4-3 公、母模仁圖



Fig 4-4 模具示意圖



Fig 4-5 模溫機

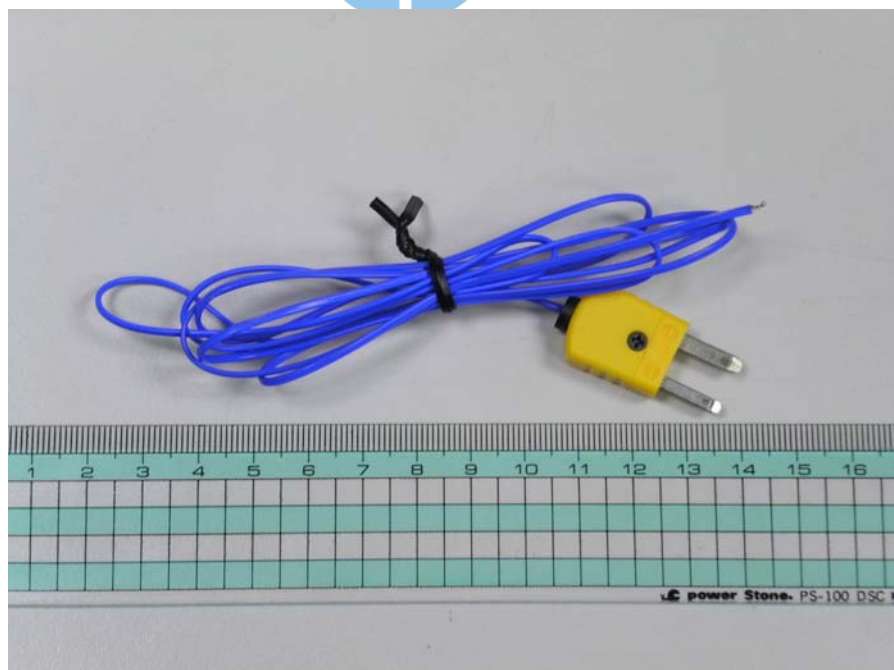


Fig 4-6 K type 熱電偶之溫度感測器





Fig 4-7 溫度感測器固定位置示意圖



Fig 4-8 烘料機

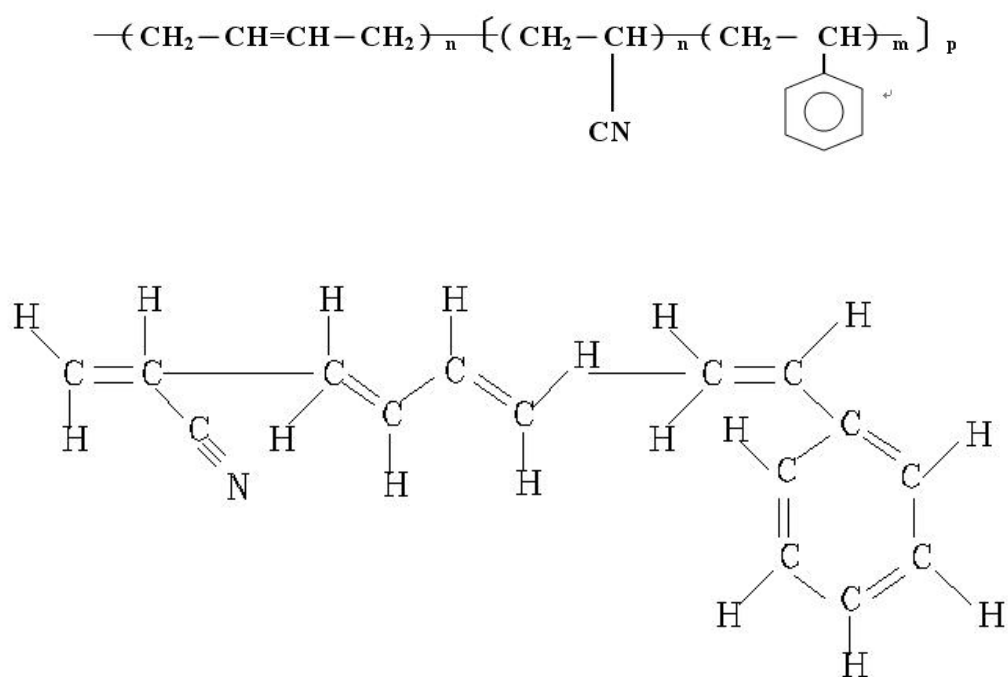


Fig 4-9 ABS 分子結構式[27]

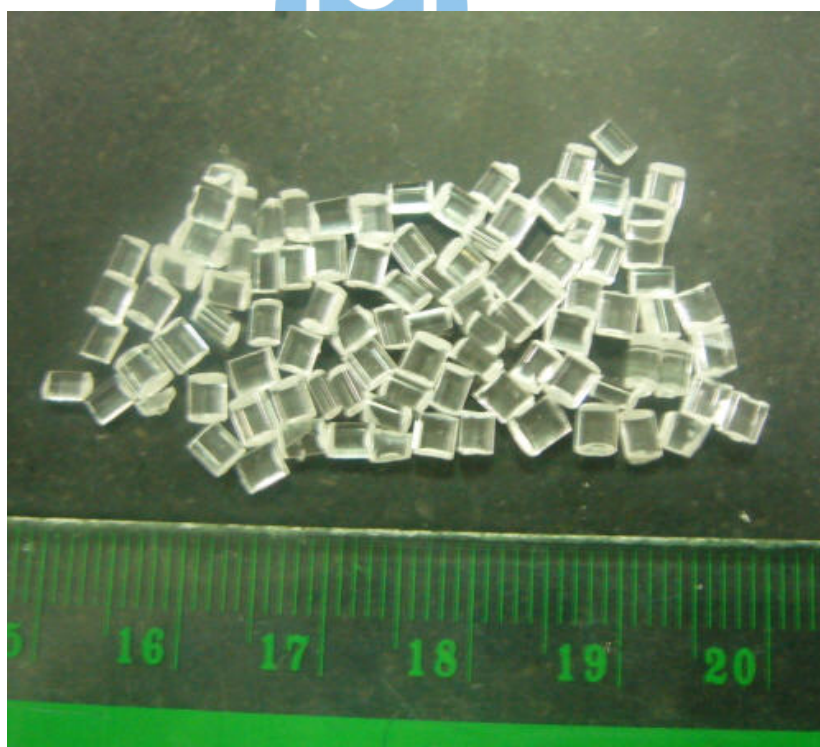


Fig 4-10 奇美 ABS PA-757 塑膠材料

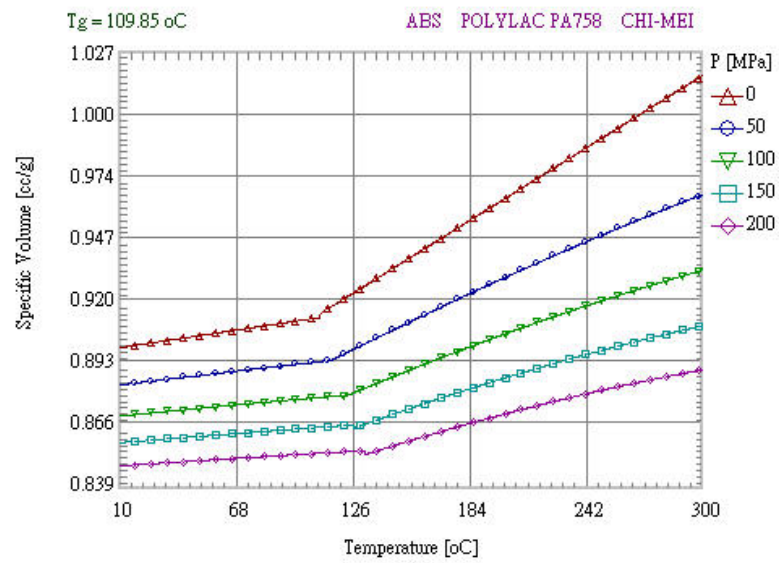


Fig 4-11 ABS PA-758 pvT 圖

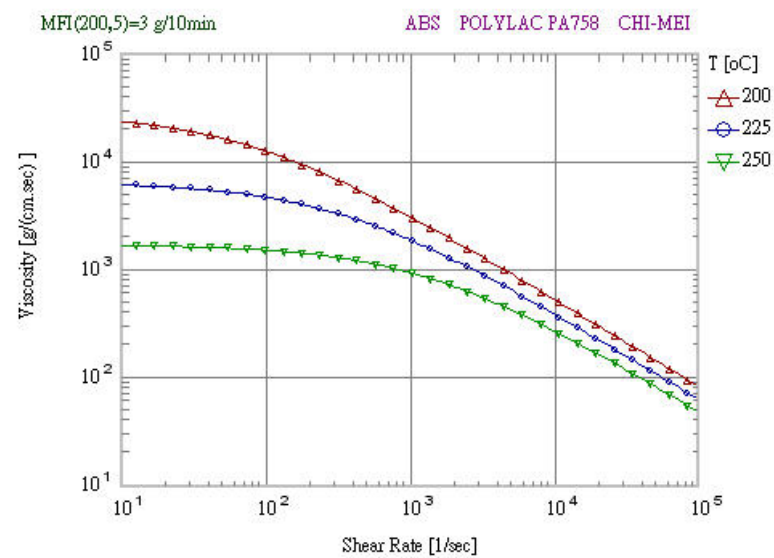


Fig 4-12 ABS PA-758 剪黏度圖

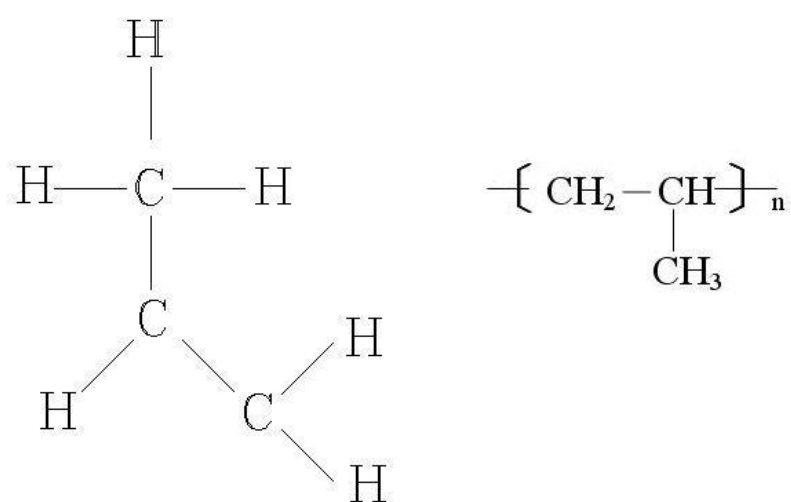


Fig 4-13 PP 分子結構式[27]

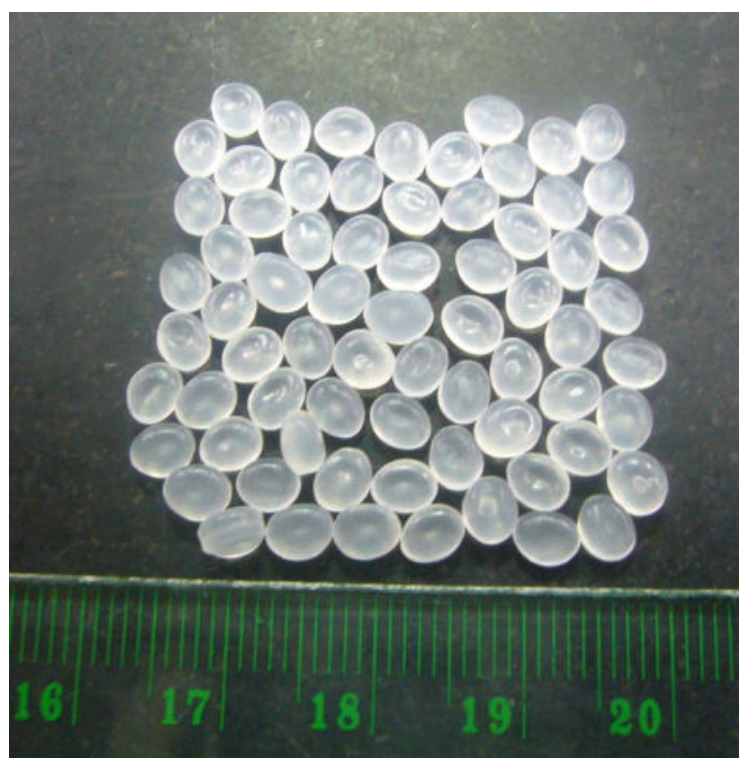


Fig 4-14 JPP MG3FTA 塑膠材料



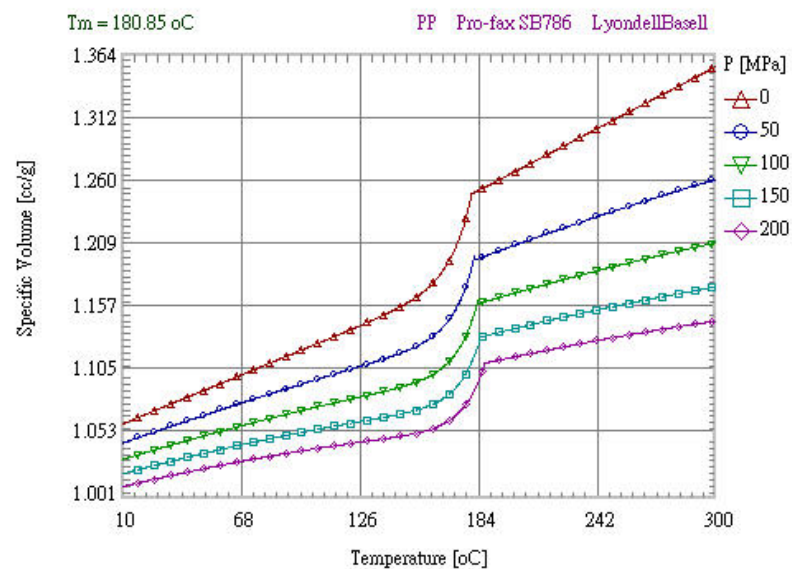


Fig 4-15 PP MG3FTA pvT 圖

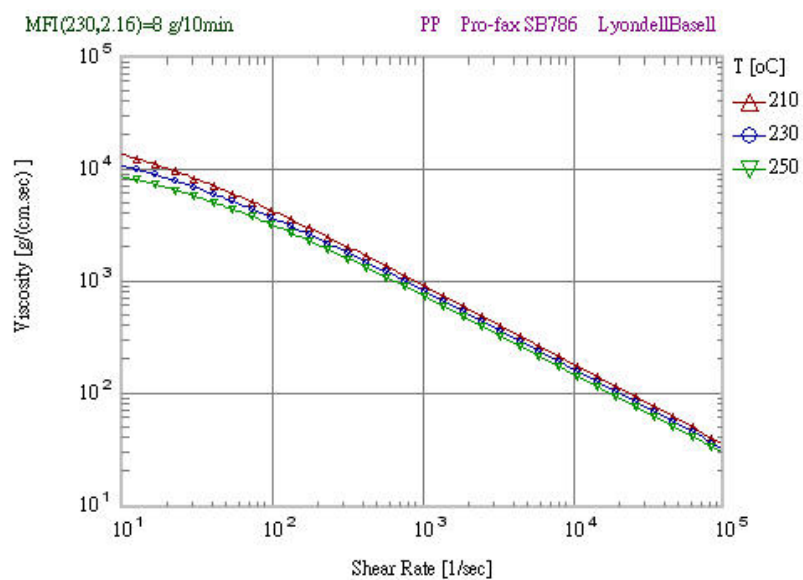


Fig 4-16 PP MG3FTA 剪黏度圖

## 4.2 量測儀器

### 4.2.1 成形試片的取樣製作

為觀察成品斷面的配向性，須製作平行於熔膠方向（P 方向）與垂直於熔膠方向（V 方向）的試片如 Fig 4-17 所示。本實驗所製作的切斷面試片，採用人工切片的方式，粗切後先以 P800 至 P1000 的砂紙粗拋至約 0.5mm 的厚度，試片完成後再使用水砂紙及拋光布將表面修整，最後使用超音波清潔拋光所殘餘的粉塵。Fig 4-18 為 A、B 穴的 P 方向及 V 方向的試片完成示意圖。

### 4.2.2 拉曼光譜儀

本研究將對射出成品內的分子配向性進行觀察，分析方法由 Murakami 等人[5, 11, 16, 17]得知，拉曼光譜可對材料作分子配向性的分析。

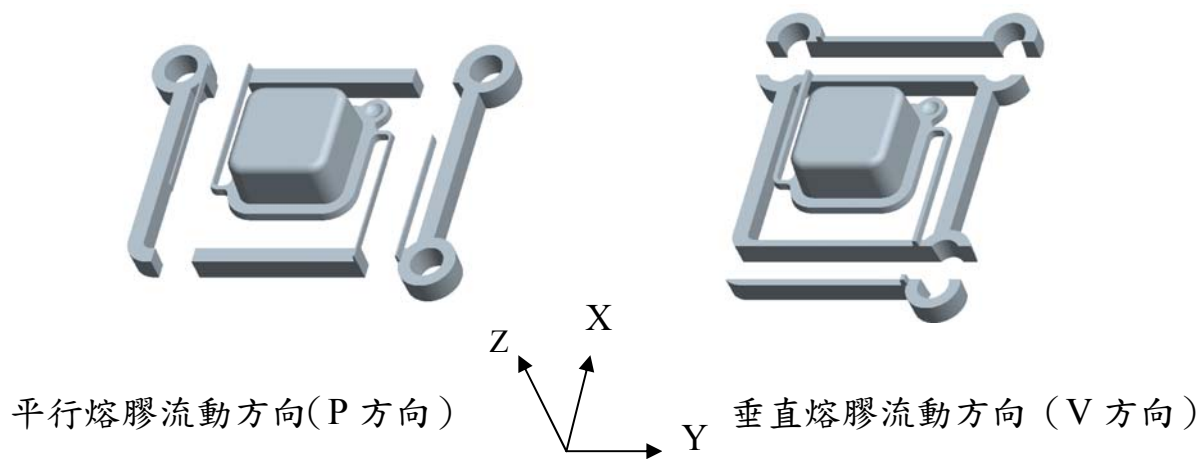
拉曼光譜儀的基本構造與光學顯微鏡相似，其多增加了雷射光源、樣品照射系統、單色器、偵測器和記錄器。在輻射光源方面，大部分使用氬-氬雷射、氬離子雷射。樣品照射系統中，因雷射光束極細，因此樣品體積可以很小，且可使用於液體樣品、固體樣品、氣體樣品等測定。拉曼光譜使用拉曼散射原理作材料分析，可分析出化合物的鍵結、為一種物質結構的鑑定工具。本實驗使用 RENISHAW 公司生產的拉曼光譜儀形號為 inVia 如 Fig 4-19 所示，氬離子雷射光

源系統選用 532nm 的綠光如 Fig 4-20，功率為 100mW。

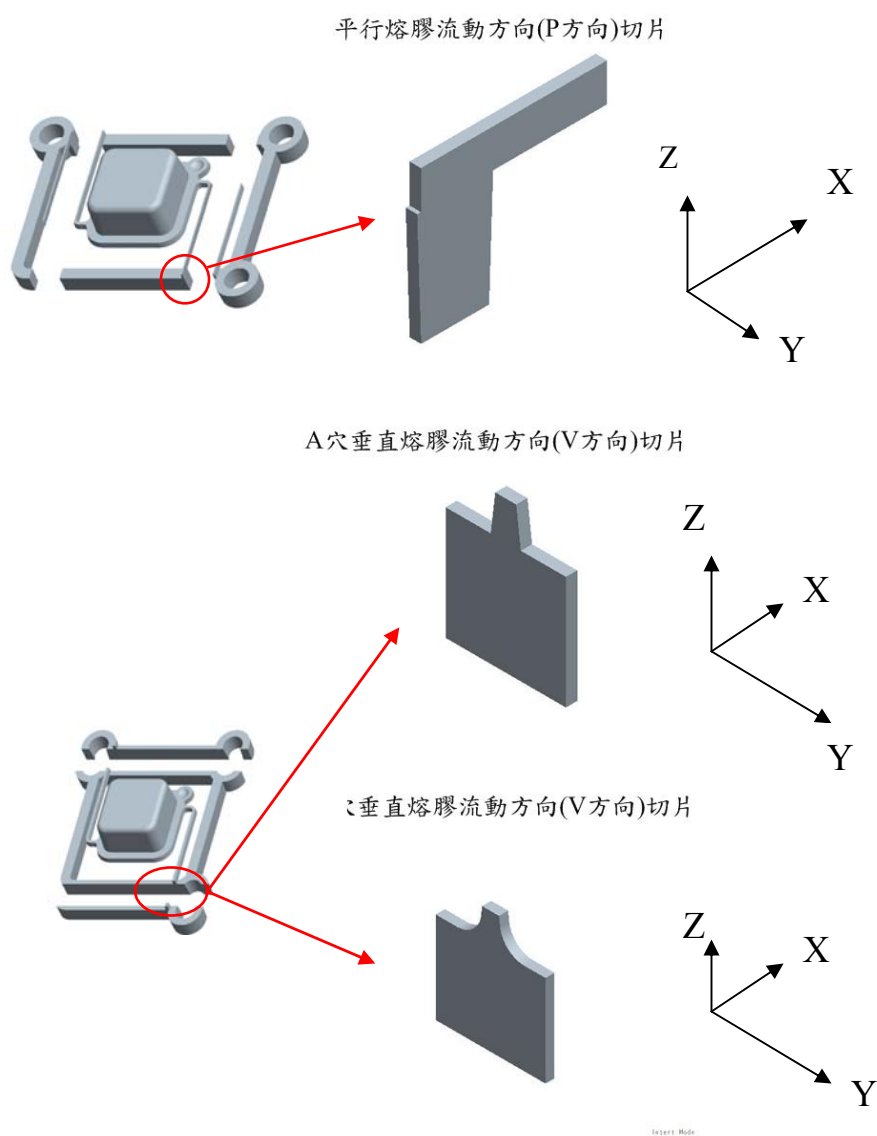
#### 4.2.3 應力偏光儀

本實驗所使用之應力偏光儀為英國Sharples公司生產，其產品形號為 COMPACT STRAIN VIEWER，搭配有CCD影像擷取系統如 Fig4-21。





**Fig 4-17** 試片的切斷面方向示意圖



**Fig 4-18** 試片完成示意圖



Fig 4-19 RENISHAW 光譜顯微鏡



Fig 4-20 雷射光源供應與濾光系統

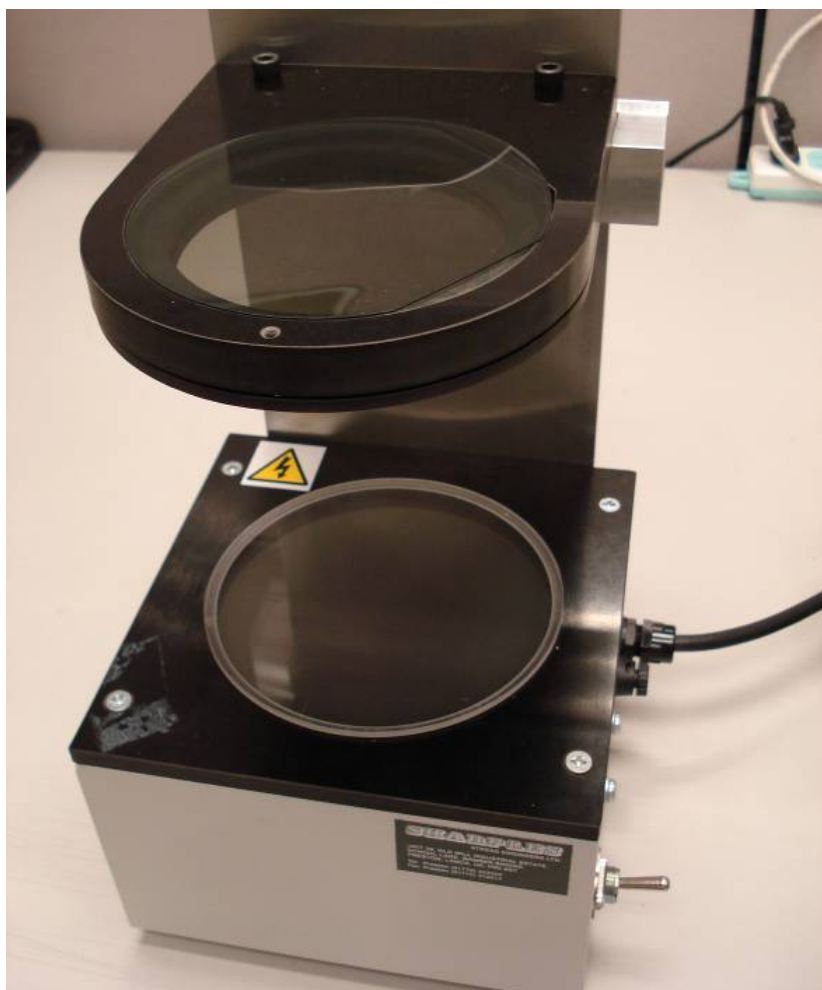


Fig4-21 應力光彈分析儀



### 4.3 實驗流程規劃

本實驗設計分為三大部份進行，一為分析模擬部份，二為實際射出成形實驗部份，三為量測比對分析。在分析模擬部份，使用 Moldex3D R9.1 模流分析軟體針對 ABS 與 PP 進行充填分析，目的為得到成形參數以提供實際射出實驗之參考，同時觀察非等向性材料 ABS 與結晶性材料 PP 兩種高分子材料在彈臂搭接處肉厚變化的熔膠流動行為。

在射出成形實驗部份，參考由 Moldex3D R9.1 得出的成形參數，經過反復調整射出參數而得到按鍵成形操作視窗，並且觀察射出參數對按鍵成形性的影響。最後再以射出成形之成品，進行應力偏光儀與拉曼光譜儀觀察相形態與高分子配向，目的為比對結晶性材料與非等向性材料在肉厚變化處的高分子配向的差異。實驗流程圖如 Fig 4-22 所示。

#### 4.3.1 模流分析

本實驗使用 Moldex3D R9.1 軟體針對按鍵進行模流充填分析，針對前處理程序（Pre Processing），數值運算（Solver Computation），後處理程序（Post Processing）[23]等三個步驟作 Fig 4-23 說明。

（1）前處理程序包含幾何模形與網格模形建立，建立流澆道、水路系統、模座邊界盒，網格品質檢查後再匯入 Moldex3D R9.0 進行數值



運算。一般模流分析軟體的幾何模形建構功能均不如專業的 3D CAD 軟體如 Pro-E、Catia、Ideas、Solid Works 等，為節省時間透過轉換成副檔名 stl、igs、step 再匯入模流分析軟體進行處理。本實驗將以建好的 Pro-E 檔案轉換為 igs 副檔名再匯入 Rhino/Moldex3D 視窗開啟模形，製作網格、建立流澆道、冷卻系統、模座邊界盒 Fig 4-24。實體網格以四面體 Tetra 元素建構 3D 實體模形。在模流分析中，塑件厚度方向的網格層數決定了 CAE 分析結果的判定，網格層數越多在計算上可得到越好的分析結果，一般來說，在射出成形的模擬分析中，厚度方向的網格層數建議最少要有三層。可以更準確的預測剪切熱造成的溫度變化、模具充填與壓力描繪等分析。3D 網格的品質檢查有四種分析檢查標準，分別是展弦比（Aspect Ratio），歪斜率（Skewness）、正交度（Orthogonality）、平滑度（Smoothness）。展弦比為元素本身的品質定義而來，其它三種為相鄰網格間的品質。利用這些工具找出有問題的網格位置以利進行修補，本實驗的 3D 實體網格分析，網格圖形及統計表如 Fig 4-25 所示。網格資料匯入 Moldex3D R9.1 進行數值運算時要先選定塑料與成形機：塑料使用臺灣奇美公司所生產的 ABS，形號為 PA-758，與日本 JPP 公司生產的 PP，形號為 MG3FTA；射出機使用日本 FANUC 公司所生產的全電式射出成形機，形號為 ROBOSHOT  $\alpha$ 15iA，以上可由 Moldex3 R9.1 資料庫中選

取或自行設定。

(2) 數值運算共分四部份，分別為充填/保壓，冷卻分析，翹曲分析，在此尚需得知熔膠在模穴中的速度向量變化，以作為比對實際熔膠的流變行為。

(3) 後處理程序最主要的任務乃是將分析的結果以圖形或文字的形式表現出來，以作為判斷分析之用。

#### 4.3.2 射出成形實驗

參考林[3]研究的最佳化成形參數（彈臂高度 0.85 mm，保壓壓力 120%相對於射壓，模具溫度 90°C，冷卻時間 20sec）與兩種材料的充填分析結果進行射出成形實驗。在射出成形實驗開始階段須經過約五十道次的試射（Clean Shot），目的為確保模具表面清潔與參數的穩定，之後在各個設定參數的取樣前須經過至少三十模次的 Test Shot 後再予以取樣，原因為模穴表面自開模頂出至模具閉合之反覆的升溫、降溫過程中，溫度場分佈需經過一定的次數之後才會達到穩定狀態，如 Fig4-26 所示。

本實驗的成形參數設定將以模具溫度、射速與保壓壓力作為主要控制變因，在固定其他成形參數條件下，探討模具溫度與保壓壓力對按鍵搭接處的高分子配向的影響。為符合模溫機的生產條件，將模具溫度設定在35°C至100°C作為實驗的測定範圍，觀察溫度變化的影

響，保壓壓力則有80MPa至170Mpa的數據組合,射速從80mm/sec至140mm/sec變化，ABS的成形參數如表4-1所示，PP的成形參數如表4-2所示。

### 4.3.3 量測比對分析

本研究為探討ABS與PP兩種材料對於肉厚變化處的高分子配向性的影響與殘留應力的比較。成形實驗取樣結束後，製作平行於熔膠流動方向與垂直於熔膠流動方向的試片，試片製作完成後可固定於量測平台上進行應力光彈儀與拉曼光譜儀的觀察。

因熔膠的噴泉流的影響，因冷卻效應的影響靠近模壁會產生固化層，距離模壁最遠的核心層與介於兩者之間的剪力層，不同的距離會顯示出不同的拉曼光譜強度，因此需測量每個層次的拉曼光譜，

Fig4-27 為拉曼光譜的測試點。

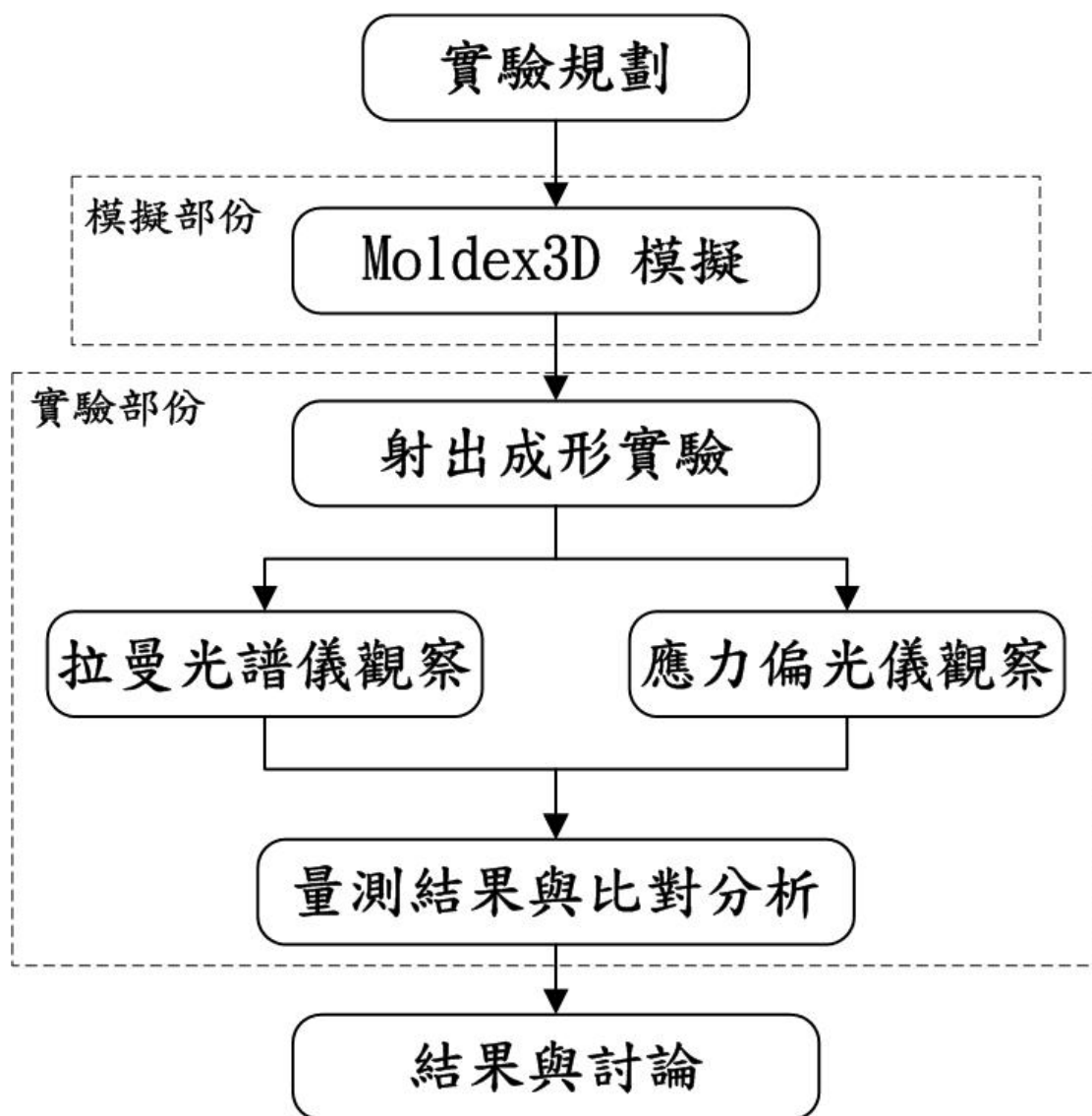


Fig 4-22 實驗流程圖

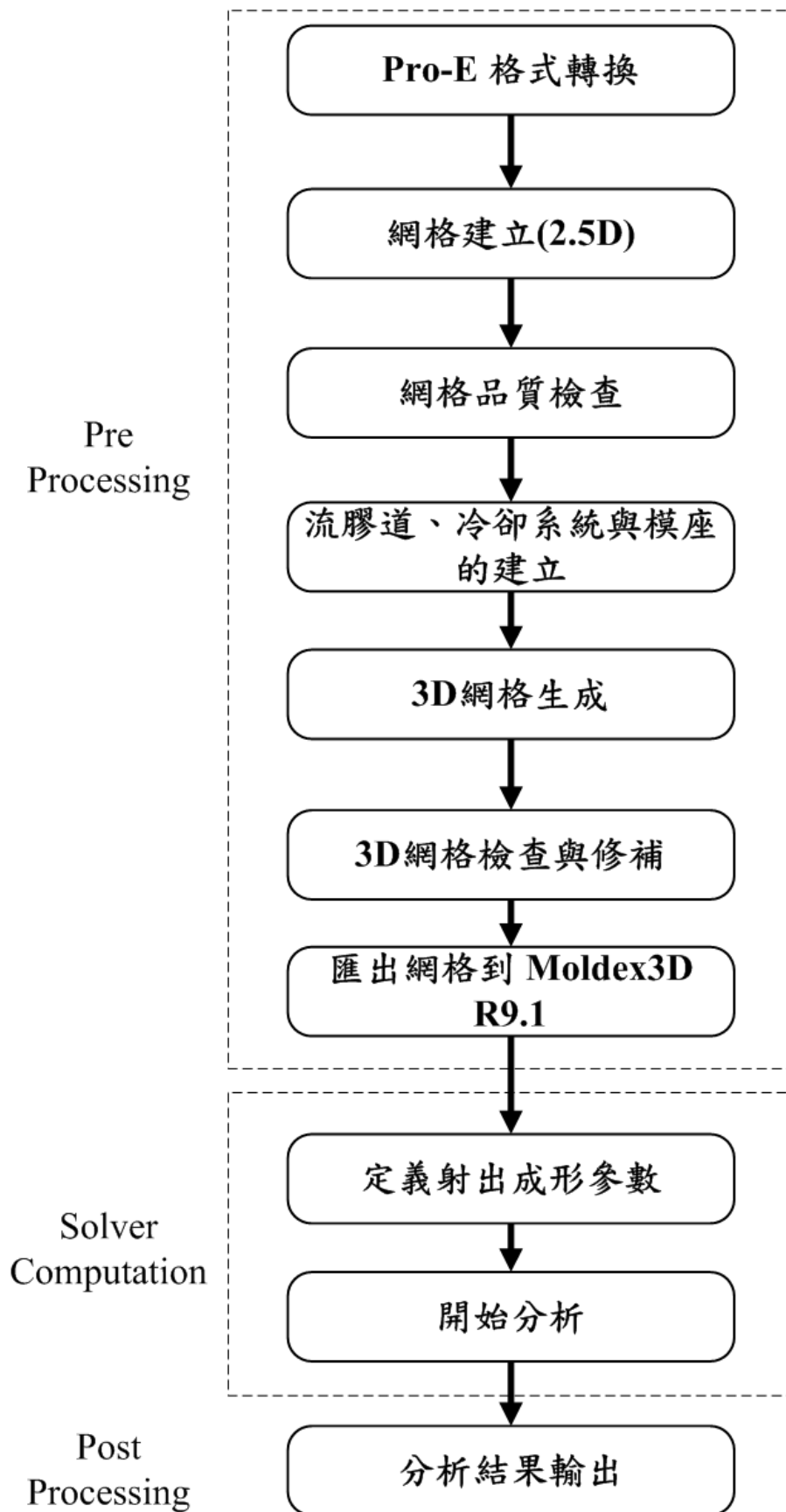


Fig 4-23 Moldex3D R9.1 分析流程圖

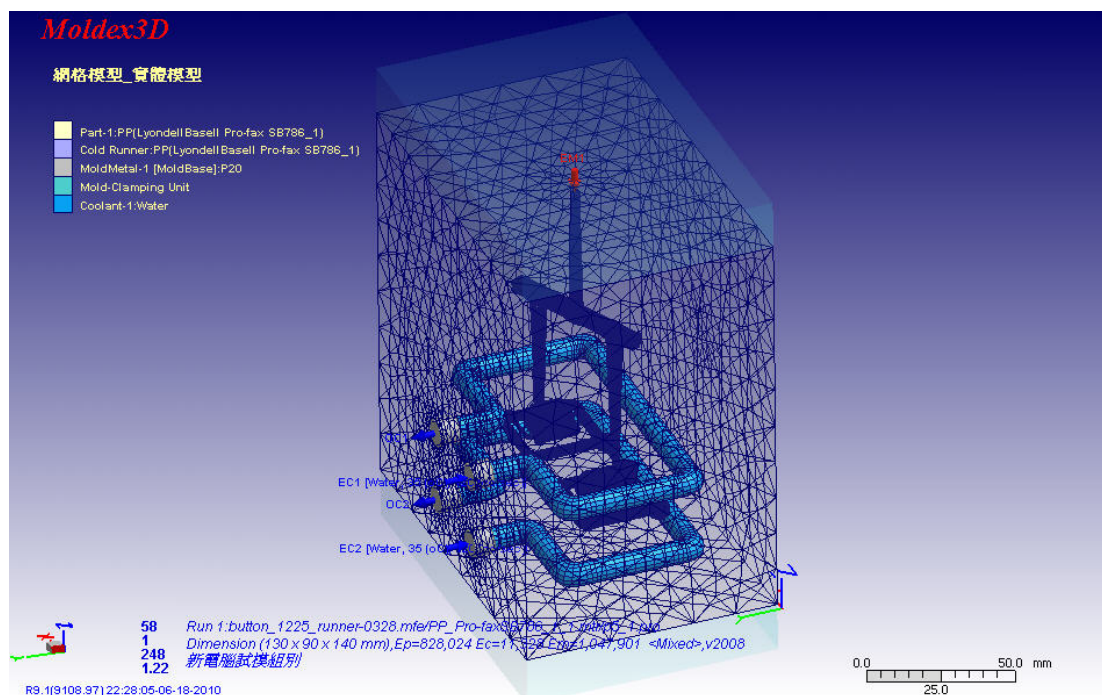
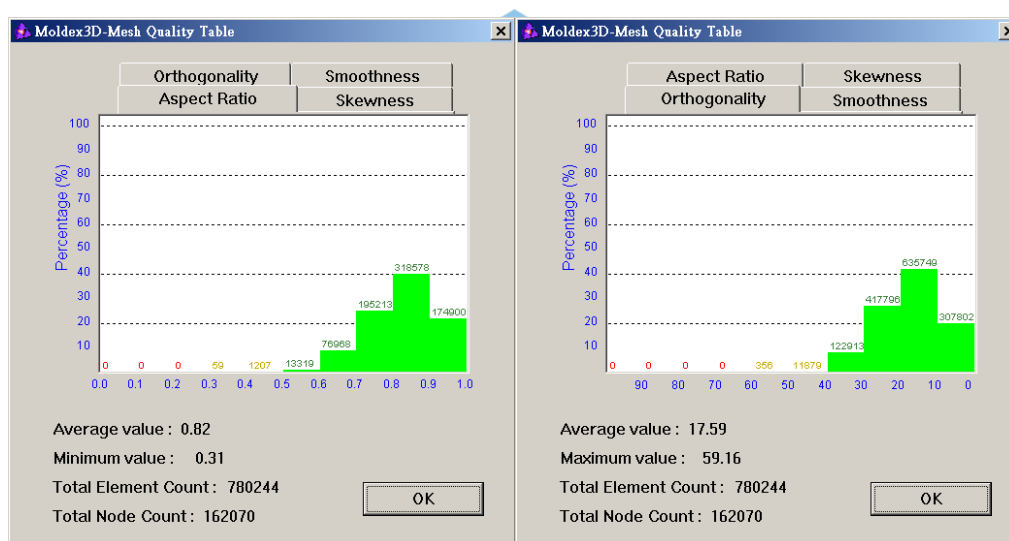


Fig 4-24 成品 3D 網格圖



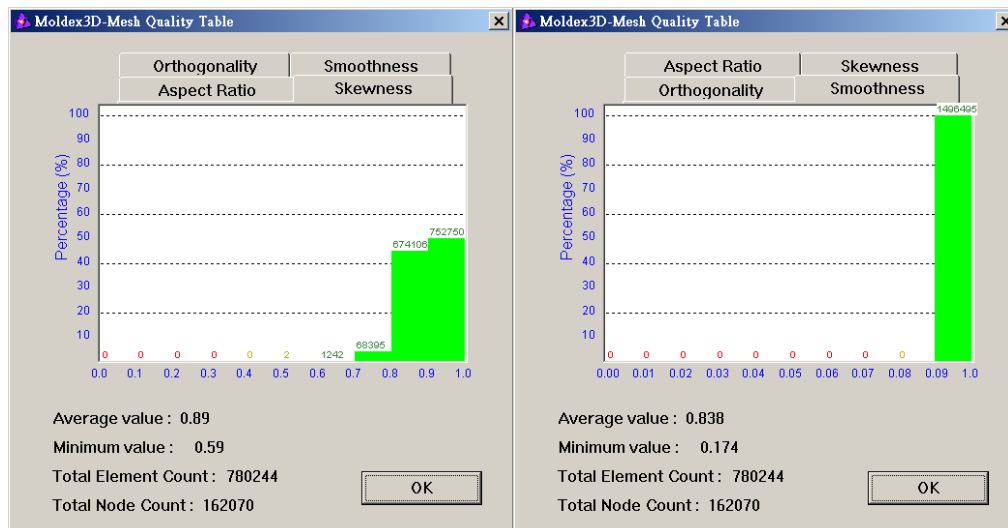


Fig 4-25 3D 網格品質圖

表4-1 ABS成形參數設定表

|   | 保壓壓力<br>Mpa | 模溫<br>℃ | 射速<br>mm/s |
|---|-------------|---------|------------|
| 1 | 170         | 50      | 100        |
| 2 | 150         | 70      | 120        |
| 3 | 130         | 90      | 140        |
| 4 | 170         | 70      | 140        |
| 5 | 150         | 90      | 100        |
| 6 | 130         | 50      | 120        |
| 7 | 170         | 90      | 120        |
| 8 | 150         | 70      | 140        |
| 9 | 130         | 50      | 100        |



表 4-2 PP成形參數設定表

|   | 保壓壓力 | 模溫 | 射速   |
|---|------|----|------|
|   | Mpa  | °C | mm/s |
| 1 | 120  | 35 | 80   |
| 2 | 100  | 50 | 100  |
| 3 | 80   | 65 | 120  |
| 4 | 120  | 50 | 120  |
| 5 | 100  | 65 | 80   |
| 6 | 80   | 35 | 100  |
| 7 | 120  | 65 | 100  |
| 8 | 100  | 50 | 120  |
| 9 | 80   | 35 | 80   |

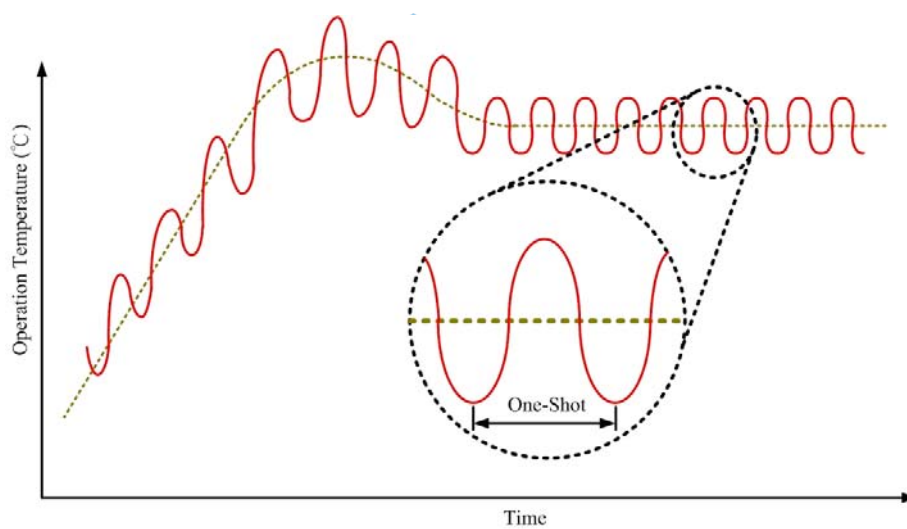
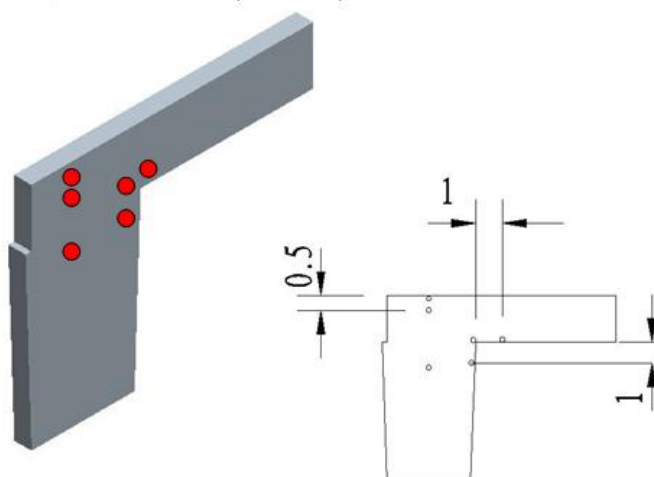
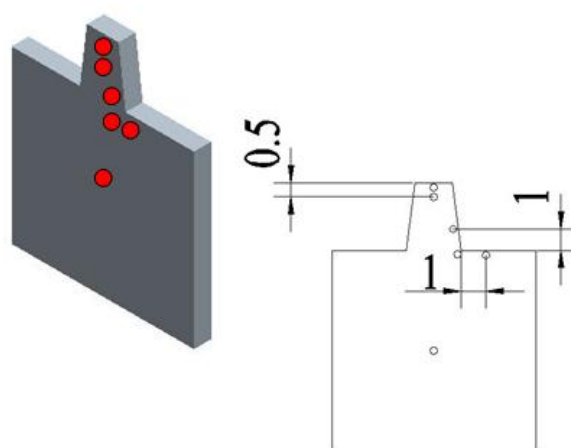


Fig4-26 模溫作業示意圖

(a) 平行熔膠流動方向(P方向)切片



(b) A穴垂直熔膠流動方向(V方向)切片



(c) B穴垂直熔膠流動方向(V方向)切片

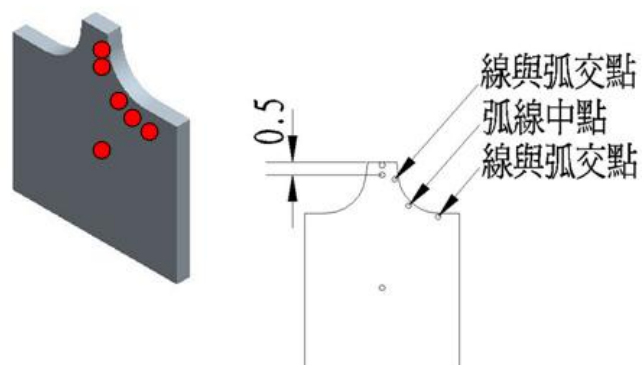


Fig4-27 拉曼光譜測試點

## 第五章 實驗結果與討論

本章主要針對模擬分析後最小的翹曲量為主要觀察樣品，再挑選出相對模具溫度與壓力或射速等成形參數差異最大的為比較樣品，再進行實際射出比對，目的為驗證上述各項成形參數對於按鍵彈臂與外框架構搭接處的高分子配向性的影響程度與殘留應力的比較。

### 5.1 模流分析、短射實驗

依照表4-1及表4-2進行的模流分析所得到的Z軸翹曲量如表5-1及表5-2，翹曲量分析結果如附錄E，翹曲量計算方式以ABS第1組為例，將正負方向的翹曲量相加 $0.05964 + 0.05422 = 0.11386$ 。ABS挑出第9項為觀察樣品，第7項為比較樣品，PP則挑出第7項為觀察樣品，第9項為比較樣品。

短射實驗的主要目的是模流分析的流動波前狀況與實際射出成形時流動波前的流動狀況是否相符。實際的短射實驗為利用螺桿前進的位置來控制熔膠的射出計量，Moldex3D R9.1是以射出百分比來描述充填的行為。PP塑料的A、B穴短射比較結果如Fig5-1及Fig5-2所示，ABS塑料的A、B穴短射比較結果如Fig5-3及Fig5-4所示。

由短射結果比較圖可看出熔膠在52%時彈臂的波前流動較實際射出超前，當波前流動進入外框架構後與即與實際射出的波前流動

吻合，原因為模具排氣不足與熔膠在工件較薄處流至較後處時模穴的剪切力流失不平衡造成。

當塑料進入模穴後接近模壁的低溫迅速冷卻，讓分子鏈來不及捲曲而直接固化，所以造成在表面層的配向大而結晶性最小。由Fig5-5與Fig5-6的斷面溫度圖可得知，塑料溫度最低部分於貼著模壁的兩側，此部分散熱最快而凝固稱為凝固層或表面層。由於固化後的塑料已經難以流動，較內層的塑料冷卻較慢，又受到固化層和流動塑料的剪切作用，使得成品內部形成剪切層並不明顯如Fig5-7與Fig5-8，因為流動波前到達搭接處後模流呈現下墜狀況，如Fig5-9與Fig5-10，B穴搭接處因有R角可看出剪切率較A穴小。在剪切層中，由於冷卻速度較固化層慢，結晶性會比固化層來得好。射出成形中冷卻最慢的部份就在成品的核心層內，而受的剪切率最小，核心層溫度為初始射出融膠溫度，由於是冷卻速率最慢的部份，所以在這層分子鏈會有充足的時間捲曲及結晶。

## 5.2 成形視窗實驗

成形視窗實驗可用來判定可成形的區域範圍，本實驗是以熔膠溫度及射出速度作為射出成形的變動。以PP為例，射速的調整範圍為50 mm/sec~130 mm/sec，取10 mm/sec為一間隔，熔膠溫度調整範圍為210℃~260℃，取10℃為一間隔，依此繪出可成形的區域範圍，此區域範

圍內可完全充填成品，實驗如有短射（Short Shot）、縮水痕（Sink Mark）、燒焦（Burn Mark）則不屬於此成形範圍。成形視窗如Fig5-11所示。

本實驗成品為彈臂形功能按鍵，以三板小點進澆於按鍵側面、再經由兩側斷面僅有 $0.68\text{ mm}^2$ 之彈臂充填整個外框框架、並完成保壓補縮之程序，違反一般成形件必須由肉厚最厚處進澆、往肉厚薄處充填之正常原則，因此本實驗選擇的成形參數均位於成形視窗的中間偏上的區域，選擇較高的射速、保壓與模溫等參數以確保實際射出時能得到較佳的成品。

本實驗選擇的ABS塑料的成形參數均位於林政佑[3]所建立的成形視窗的中間區域，因此ABS的成形視窗則參照林政佑所建立的成形視窗即可。

### 5.3 拉曼光譜量測結果

PP 與 ABS 各選定兩種射出參數作為拉曼光譜的觀察樣品與比較樣品，試片的切片方向有平行模流方向及垂直模流方向，分別由不同的方向作測試點再做分析與比較。拉曼光譜結果的比較，可以從光譜中每個拉曼位移的峰帶，觀察出是分子中哪種官能基的反應範圍，光譜的 Y 軸 Peak intensity 為表示此帶的官能基反應的多寡，強度的計算方式為峰值和背景的差值。

### 5.3.1 拉曼光譜 PP 的分析結果

首先觀察模溫在35°C時彈臂與外框架構轉角處的垂直模流方向的固化層（4、5、6點），發現A穴的光譜強度較B穴高如Fig5-12，A穴熔膠在轉角處會有迴流現象（Re-circulate）[23]發生，B穴的R角讓流動波前較順暢，讓固化層分子鏈能夠較A穴伸展狀態較好，冷卻後A穴轉角處分子配向會較紊亂，B穴在轉角處的分子配向性會較高，所以A穴轉角處的官能基振動較B穴來的明顯。模溫在65°C時外框架構轉角處的垂直模流方向的固化層（4,5,6點），A、B穴的光譜強度在5、6點的差異不大如Fig5-13，是因為模溫及射速均增加而固化層凝固的時間也增加，而減少迴流現象使的分子配向性趨於接近。第4點的 $808\text{cm}^{-1}\gamma(\text{CH}_2)$ 、 $1150\text{cm}^{-1}\delta(\text{CH})$ 及 $1457\text{cm}^{-1}\delta(\text{CH}_2)$ 的官能基振動B穴大於A穴，推測是A穴的測量位置較接近剪力層，有較高的分子配向性。PP分子振動模式代號與拉曼位移與振動模式對照表如表5-3及表5-4。A穴轉角處在35°C時各頻段拉曼位移的官能基振動強度均大於65°C如Fig5-14，明顯的是由於快速冷卻造成的效果。B穴轉角處65°C時各頻段拉曼位移的官能基振動強度均大於35°C如Fig5-15，因為在R角處無迴流現象剪應力較大，模溫較低時固化層凝固時間較快因此有較高的分子配向性，反之則分子配向性較低。

B穴在垂直模流方向的固化層、剪切層及核心層（1、2、3）的

拉曼光譜如Fig5-16，可能是斷面積較小，溫度梯度變化較快造成，固化層在模溫35°C時的808  $\text{cm}^{-1}$ 呈現強度上升，模溫65°C時的1458  $\text{cm}^{-1}$ 及1151  $\text{cm}^{-1}$ 強度也呈現上升的情況。A穴在垂直模流方向的固化層、剪切層及核心層（1、2、3）的拉曼光譜如Fig5-17，核對後發現固化層及剪切層在不同模溫的官能基振動強度差異不大，在核心層的808  $\text{cm}^{-1}$ 模溫35°C時的強度大於模溫65°C，頻譜到1151  $\text{cm}^{-1}$ 及1458  $\text{cm}^{-1}$ 時模溫65°C時的強度大於模溫35°C的強度。

平行流方向的固化層、剪切層及核心層（1、2、3）的拉曼光譜如Fig5-18，固化層及剪切層的兩種模溫的光譜差異不大，且在1458  $\text{cm}^{-1}$ 時模溫65°C時的強度大於模溫35°C的強度，核心層則在808  $\text{cm}^{-1}$ 時模溫65°C時的強度大於模溫35°C的強度。在平行流方向轉角處如Fig5-19的1458  $\text{cm}^{-1}$ 、1151  $\text{cm}^{-1}$ 及808  $\text{cm}^{-1}$ 則呈現強度上升的情況。從光譜對照表中查到光譜帶的運動方式，1458為 $\delta(\text{CH}_2)$ 、1151為 $\delta(\text{CH})$ ，808為 $\gamma(\text{CH}_2)$ 。Fig5-20為模擬高分子鏈伸展凝固後，在垂直及平行方向受到光照而反應。當平行流向的光照時，因為側鏈 $\text{CH}_2$ 受到遮蔽較多，所以與光子反應較少；而垂直流向的分子鏈側面受到光照時，側鏈 $\text{CH}_2$ 裸露較多，讓1458  $\text{cm}^{-1}$ 的光譜強度較大。所以我們能夠從拉曼光譜結果觀察出，PP在射出成形中成形層次的差異，以及判斷微結構內的高分子配向。



### 5.3.2 拉曼光譜 ABS 的分析結果

首先觀察模溫在50°C時彈臂與外框架構轉角處的垂直模流方向的固化層(4、5、6點)如Fig5-21，觀察到僅在第4點在1000cm<sup>-1</sup>v<sub>s</sub>(C-H)的官能基強度A穴稍大於B穴，第5點在3060 cm<sup>-1</sup>v<sub>s</sub>(C-H)的官能基振動強度B穴稍大於A穴，其它譜段的差異不明顯，原因為較低的模溫(50°C)與偏高的射速(100 cm/ec)使固化層較快凝固所致。ABS拉曼位移與官能基振動模式對照表如表5-5。模溫在90°C時A、B兩穴的全頻段拉曼光譜強度無明顯變化如Fig5-22。

比較B穴模溫50°C與90°C在垂直模流方向固化層、剪力層與核心層的(1、2、3點)的官能基振動強度如Fig5-23，發現在模溫90°C時各官能基振動的頻譜段均大於模溫50°C，振動強度差異值核心層最大依次為剪力層，固化層差異最小。A穴模溫50°C與90°C在垂直模流方向固化層、剪力層與核心層的(1、2、3點)的官能基振動強度如Fig5-24，在固化層與剪力層的官能基振動差異不大，在核心層的1000 cm<sup>-1</sup>v<sub>s</sub>(C-H)與1600 cm<sup>-1</sup>(C-H ring deformation)官能基振動50°C大於90°C，因為模溫較低，可能核心層的高分子鏈還在糾纏狀態來不及鬆弛就凝固。在平行流的方向如Fig5-25，615 cm<sup>-1</sup>(C-H ring bending)、1000 cm<sup>-1</sup>v<sub>s</sub>(C-H)與1600 cm<sup>-1</sup>(C-H ring deformation)呈現強度上昇的情形，參考模擬ABS高分子鏈不同方向的照射圖如

**Fig5-26**，分子鏈遭受變形、摺疊與伸長導致分子鏈側鏈較為明顯。

在平行流方向的轉角處如**Fig5-27**，模溫90℃時第4、5點的1000  $\text{cm}^{-1}$ 及1600  $\text{cm}^{-1}$ 官能基強度大於50℃，當流動波前到第6點時熔膠沿著模壁向下流動，向下的剪切力將高分子鏈拉伸，模溫的影響低於剪切力，因此固化層官能基強度又趨於一致。

#### 5.4 殘留應力之光彈量測

殘留應力的光彈量測部分，PP 材質的光彈圖如 **Fig5-28**，光彈圖中顏色線條變化越劇烈代表殘留應力越大，在凝固層及剪切層的線條很明顯變化，核心層的顏色變化平順，表示核心層的殘留應力小於凝固層及剪切層。ABS 材質的光彈圖如 **Fig5-29**，顏色變化較不明顯，也可觀察到凝固層與核心層的應力變化，彈臂由於斷面積小於兩側的澆道，固化層與剪力層較厚**[17]**，因此受到的熔膠的剪應力較大而有殘留應力。

表 5-1 ABS 塑料 Z 軸翹曲量

|   | 保壓壓力 | 模溫 | 射速   | Z 軸最大翹曲量 |
|---|------|----|------|----------|
|   | Mpa  | ℃  | mm/s | mm       |
| 1 | 170  | 50 | 100  | 0.114    |
| 2 | 150  | 70 | 120  | 0.099    |
| 3 | 130  | 90 | 140  | 0.099    |
| 4 | 170  | 70 | 140  | 0.112    |
| 5 | 150  | 90 | 100  | 0.099    |
| 6 | 130  | 50 | 120  | 0.099    |
| 7 | 170  | 90 | 120  | 0.112    |
| 8 | 150  | 70 | 140  | 0.099    |
| 9 | 130  | 50 | 100  | 0.018    |

表 5-2 PP 塑料 Z 軸翹曲量

|   | 保壓壓力 | 模溫 | 射速   | Z 軸最大翹曲量 |
|---|------|----|------|----------|
|   | Mpa  | ℃  | mm/s | mm       |
| 1 | 120  | 35 | 80   | 0.176    |
| 2 | 100  | 50 | 100  | 0.174    |
| 3 | 80   | 65 | 120  | 0.275    |
| 4 | 120  | 50 | 120  | 0.175    |
| 5 | 100  | 65 | 80   | 0.169    |
| 6 | 80   | 35 | 100  | 0.314    |
| 7 | 120  | 65 | 100  | 0.166    |
| 8 | 100  | 50 | 120  | 0.217    |
| 9 | 80   | 35 | 80   | 0.214    |

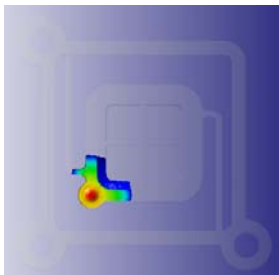

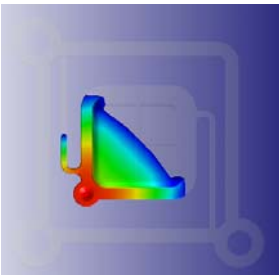
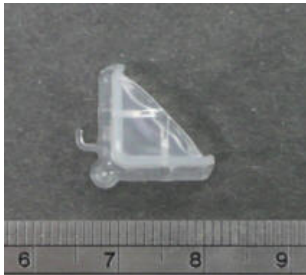
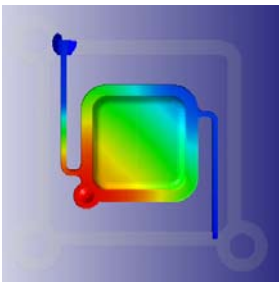

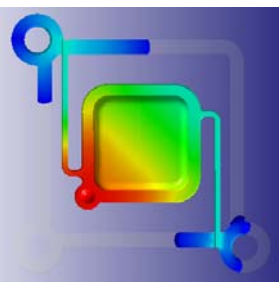

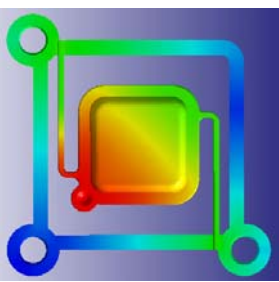
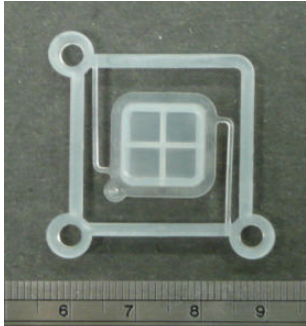
| Moldex3D Analysis   | Filling Rate | Part<br>(Screw dial position : mm)   |    |
|---|--------------|--|----|
|    | 17%          |    | 25 |
|    | 26%          |    | 28 |
|   | 52%          |   | 33 |
|  | 70%          |  | 38 |
|  | 100%         |  | 44 |

Fig5-1 PP 材質 A 穴短射比對

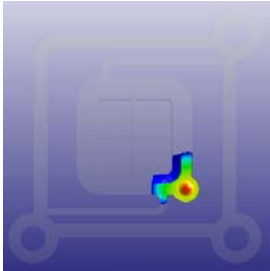

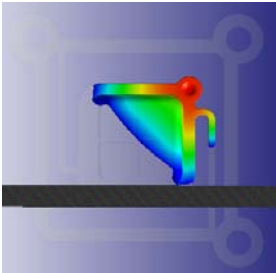

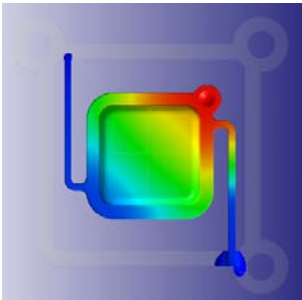

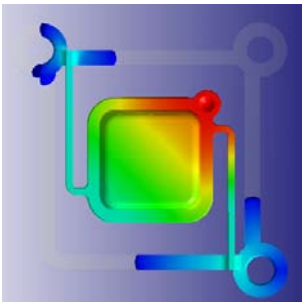

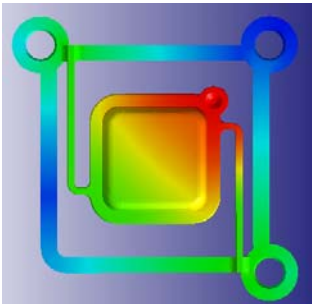
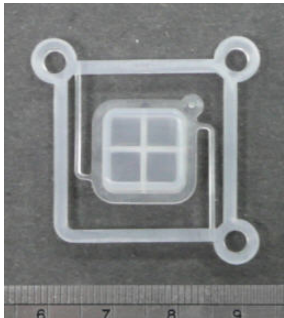
| Moldex3D Analysis   | Filling Rate | Part<br>(Screw dial position : mm)   |    |
|---|--------------|--|----|
|    | 17%          |    | 25 |
|    | 26%          |    | 28 |
|   | 52%          |   | 33 |
|  | 70%          |  | 38 |
|  | 100%         |  | 44 |

Fig5-2 PP 材質 B 穴短射比對

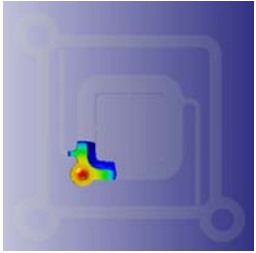

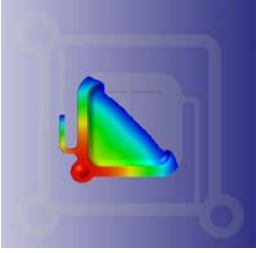

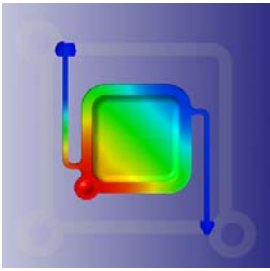
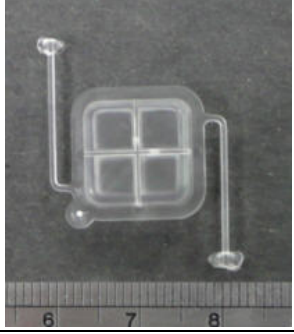
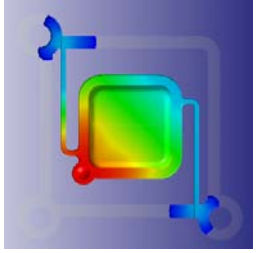
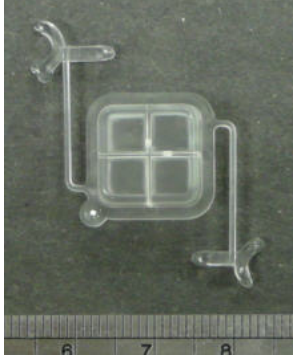

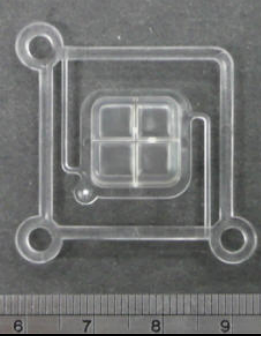
| Moldex3D Analysis   | Filling Rate | Part<br>(Screw dial position : mm)   |    |
|---|--------------|--|----|
|    | 17%          |    | 20 |
|    | 26%          |    | 22 |
|   | 52%          |   | 28 |
|  | 70%          |  | 30 |
|  | 100%         |  | 38 |

Fig5-3 ABS 材質 A 穴短射比對



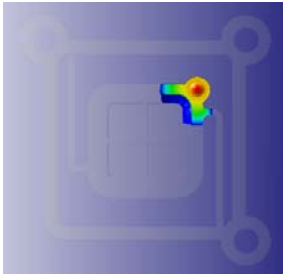

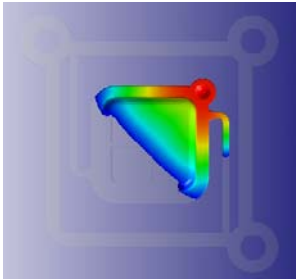

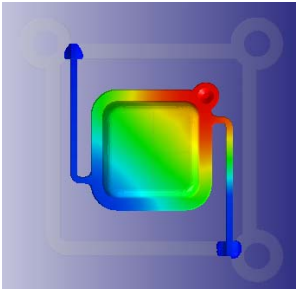
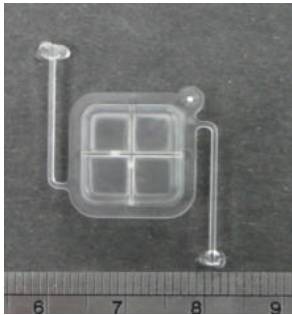
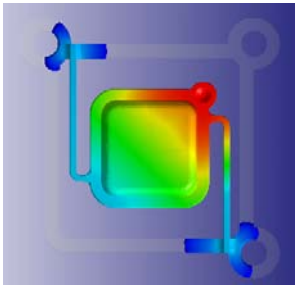
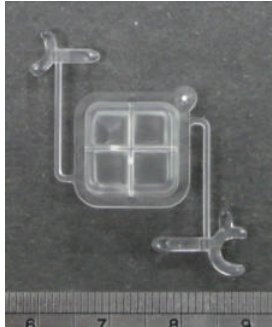
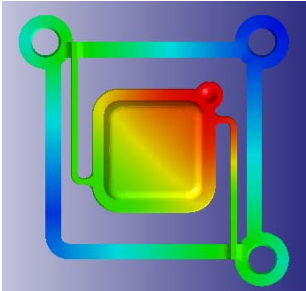
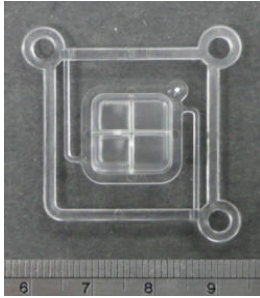
| Moldex3D Analysis   | Filling Rate | Part<br>(Screw dial position : mm)   |    |
|---|--------------|--|----|
|    | 17%          |    | 20 |
|    | 26%          |    | 22 |
|   | 52%          |   | 28 |
|  | 70%          |  | 30 |
|  | 100%         |  | 38 |

Fig5-4 ABS 材質 B 穴短射比對



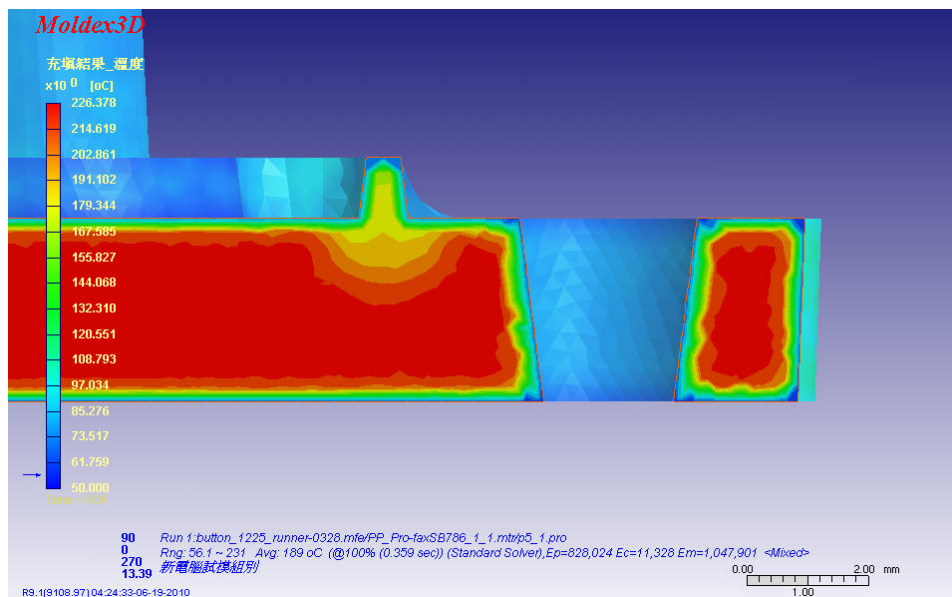


Fig5-5 A 穴剖面溫度分佈 (PP)

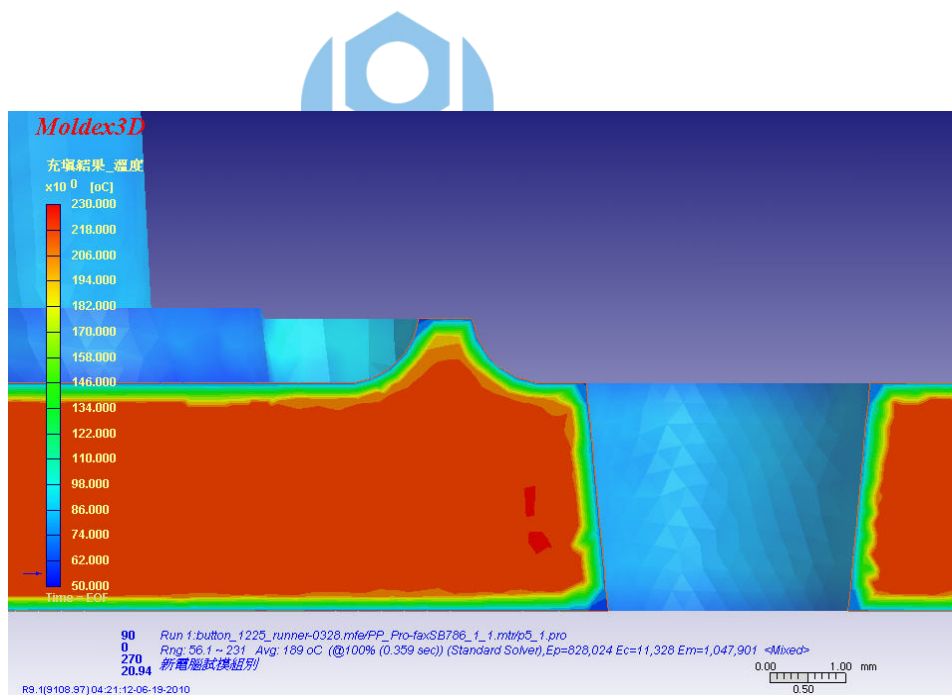


Fig5-6 B 穴剖面溫度分佈 (PP)

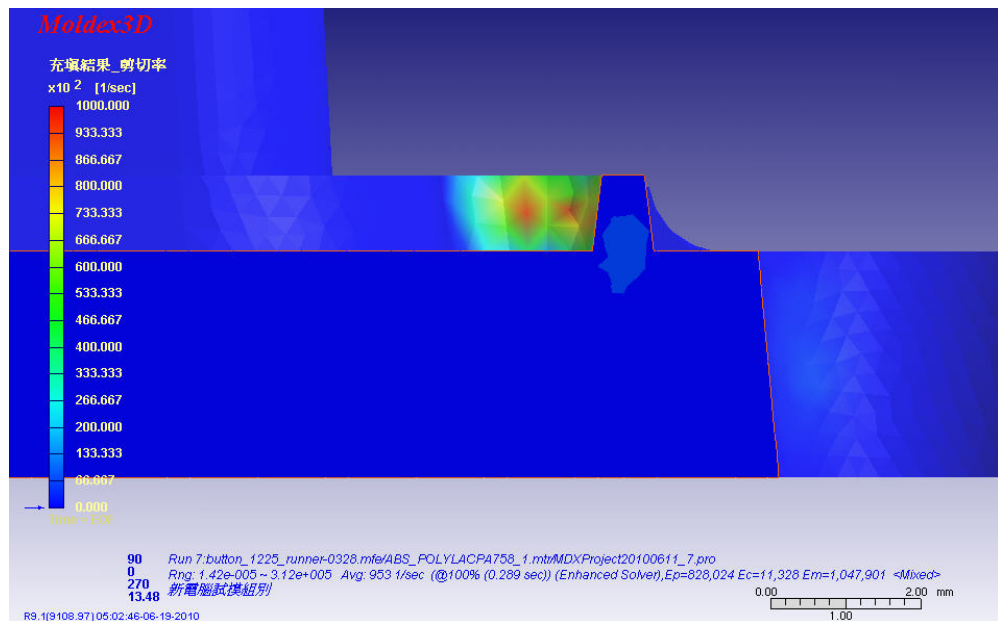


Fig5-7 A 穴剖面剪切率分佈 (PP)

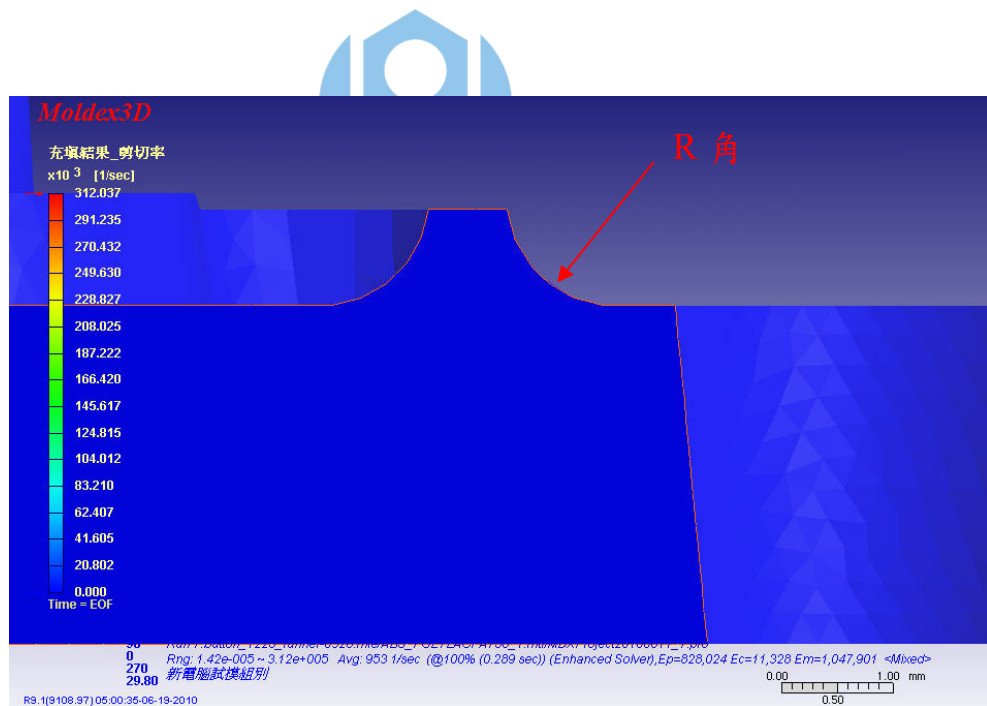


Fig5-8 B 穴剖面剪切率分佈 (PP)

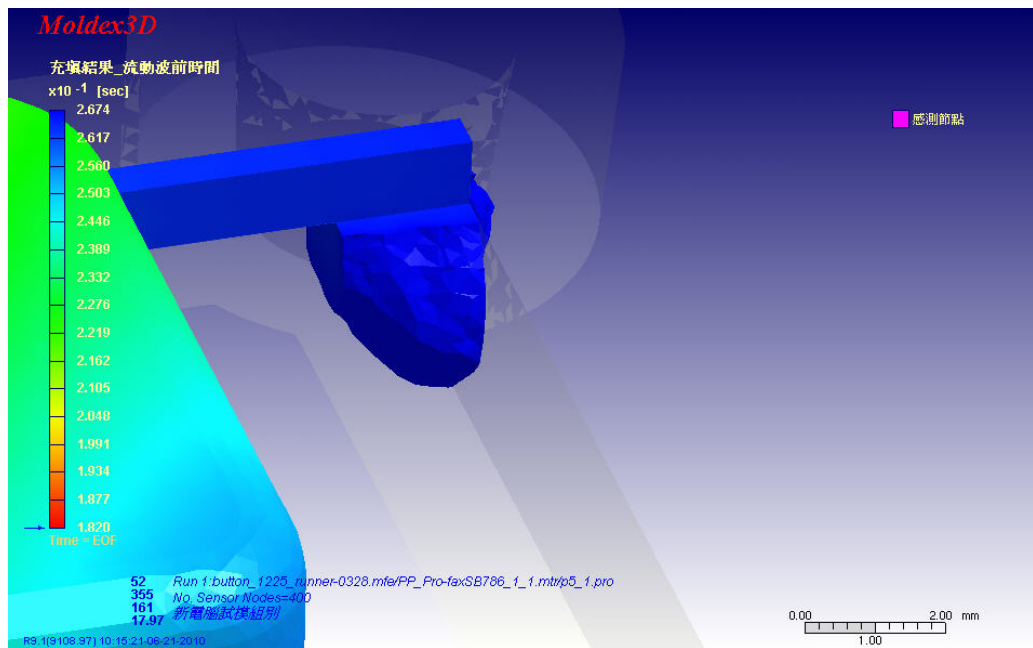


Fig5-9 A 穴流動波前的狀態

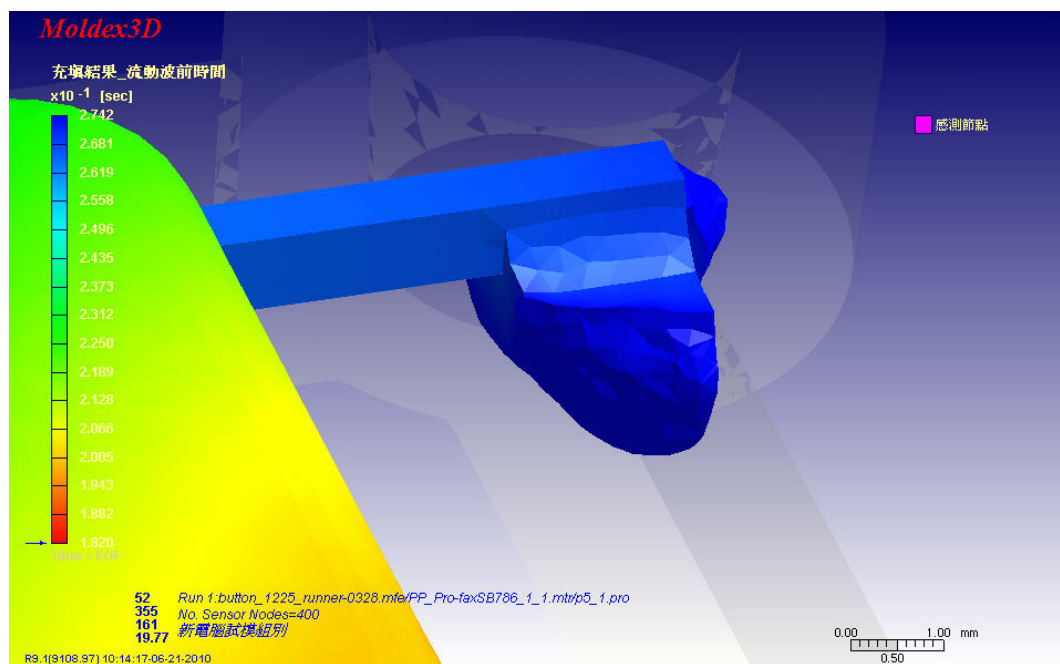


Fig5-10 B 穴流動波前的狀態

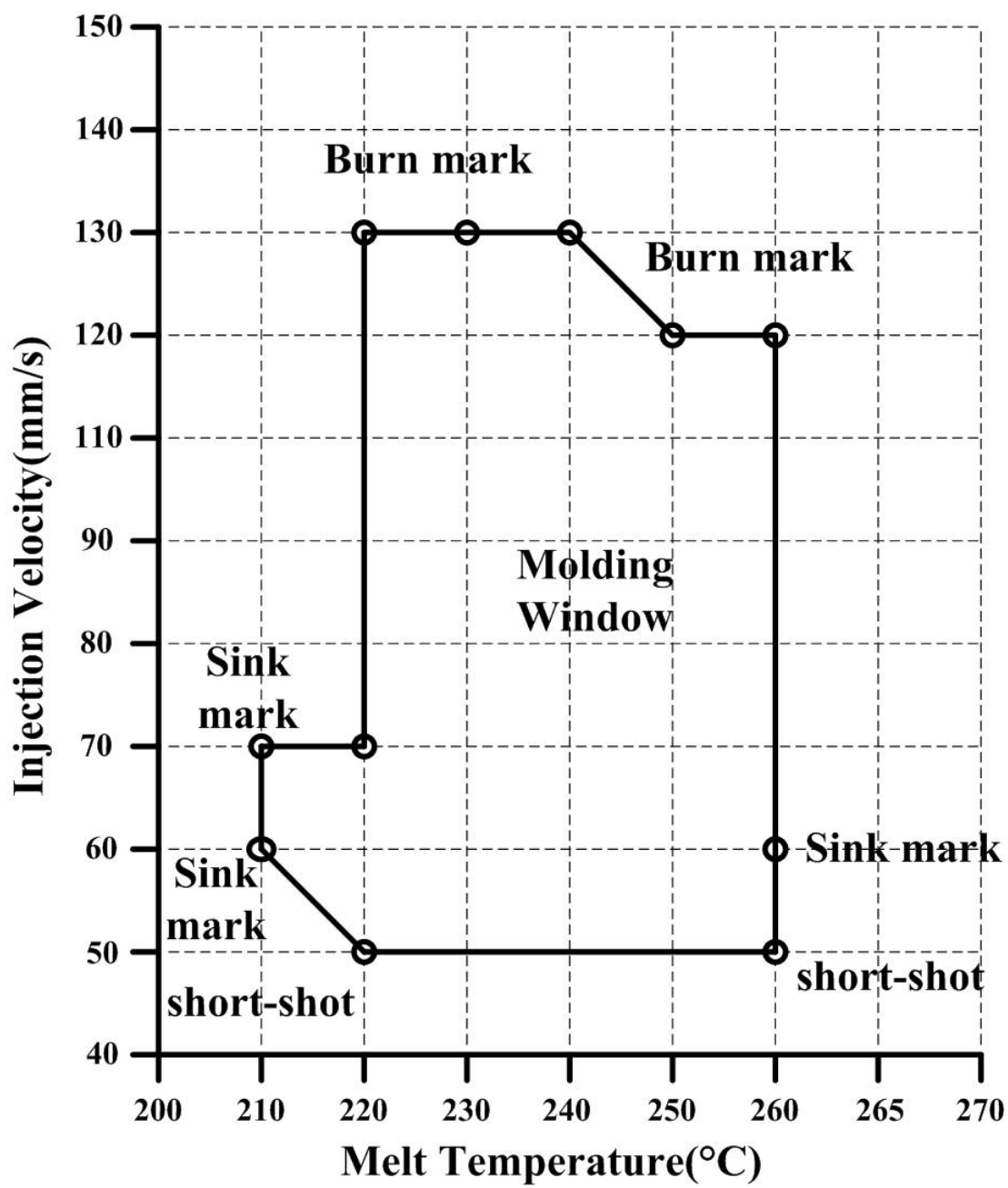


Fig5-11 PP 成形視窗

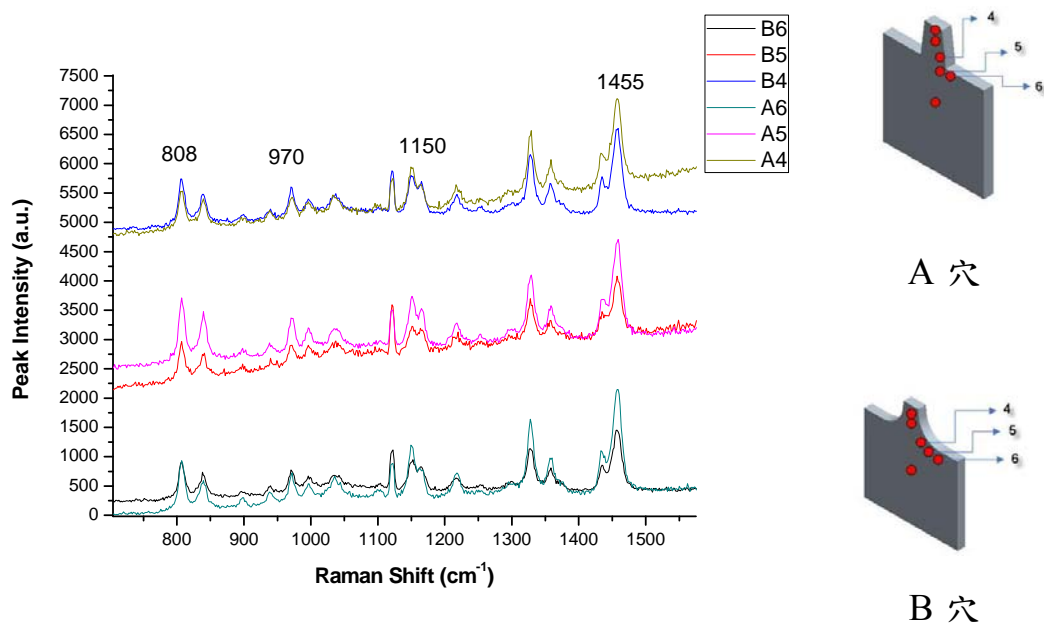


Fig5-12 PP拉曼光譜-模溫35°C-A、B穴垂直方向

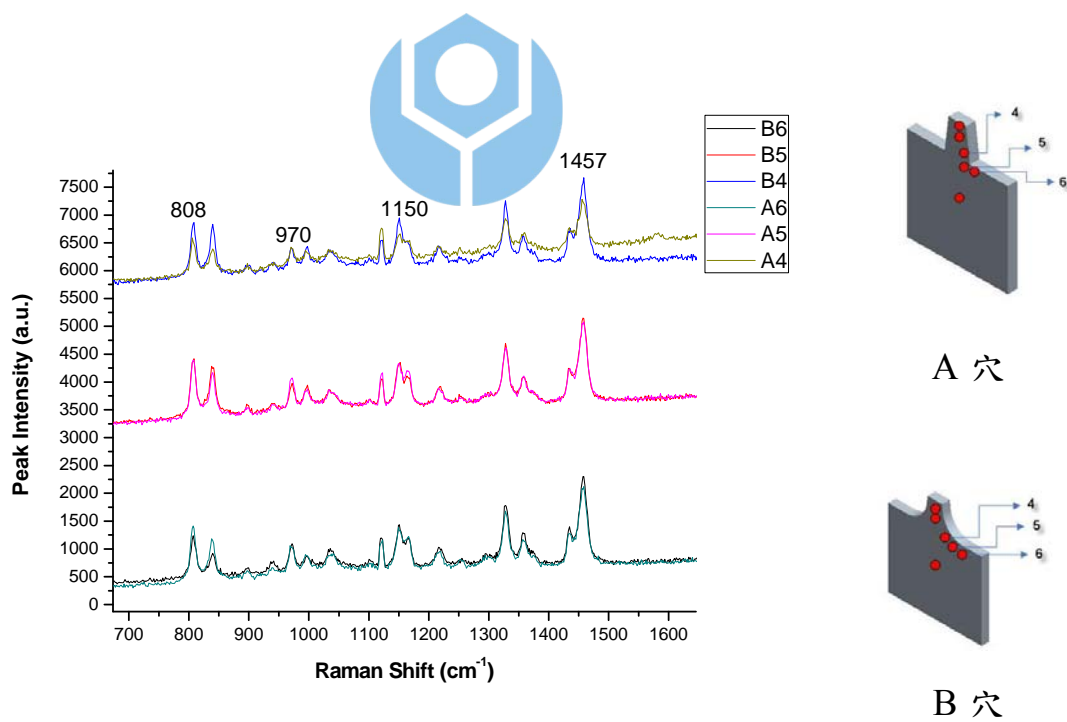


Fig5-13 PP拉曼光譜-模溫65°C-A、B穴垂直方向

表5-3 分子振動模式對照表[28]








| Geometry  | Vibration                                 | Nomenclature                  |
|---|---|-------------------------------|
|    | Symmetric CH <sub>2</sub> -Stretching     | $\nu_s$ (CH <sub>2</sub> )    |
|    | Antisymmetric CH <sub>2</sub> -Stretching | $\nu_{as}$ (CH <sub>2</sub> ) |
|    | CH <sub>2</sub> -bending                  | $\delta$ (CH <sub>2</sub> )   |
|    | CH <sub>2</sub> -twisting                 | $\gamma_t$ (CH <sub>2</sub> ) |
|    | CH <sub>2</sub> -wagging                  | $\gamma_w$ (CH <sub>2</sub> ) |
|   | CH <sub>2</sub> -rocking                  | $\gamma_r$ (CH <sub>2</sub> ) |
|  | CCC-bending                               | $\Delta$ (CCC)                |

表5-4 PP拉曼位移與分子振動模式對照表[29]

| Vibrational assignment for Raman bands of i-PP ( $\delta$ = bending, $r$ = rocking, $\nu$ = stretching, $t$ = twisting, $w$ = wagging). From Ref. [31] |  |
|--|--|
| $\omega$ (cm <sup>-1</sup> )   | Vibrational assignment   |
| 808  | $r(\text{CH}_2)$ , $\nu(\text{C}-\text{C})$                          |
| 841  | $r(\text{CH}_2)$   |
| 972  | $r(\text{CH}_3)$ , $\nu(\text{C}-\text{C})$                          |
| 998  | $r(\text{CH}_3)$   |
| 1151   | $\nu(\text{C}-\text{C})$ , $\delta(\text{CH})$                       |
| 1168   | $\nu(\text{C}-\text{C})$ , $r(\text{CH}_3)$ , $w(\text{C}-\text{C})$ |
| 1220   | $t(\text{CH}_2)$ , $w(\text{CH})$ , $\nu(\text{C}-\text{C})$         |
| 1435   | $\delta(\text{CH}_2)$  |
| 1458   | $\delta(\text{CH}_2)$  |

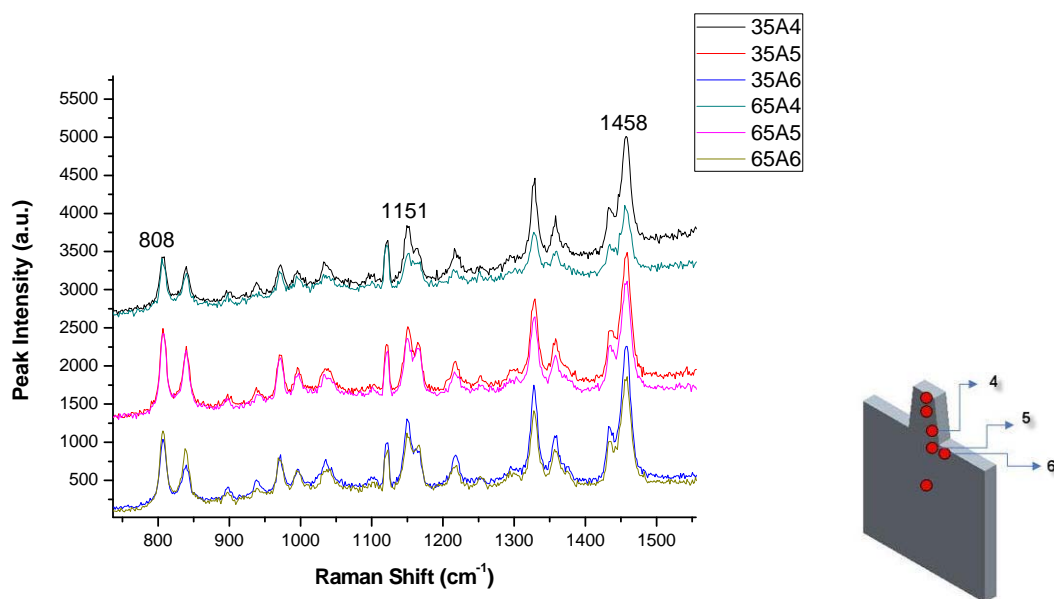


Fig5-14 PP拉曼光譜-模溫35°C及65°C-A穴垂直方向(4，5，6)

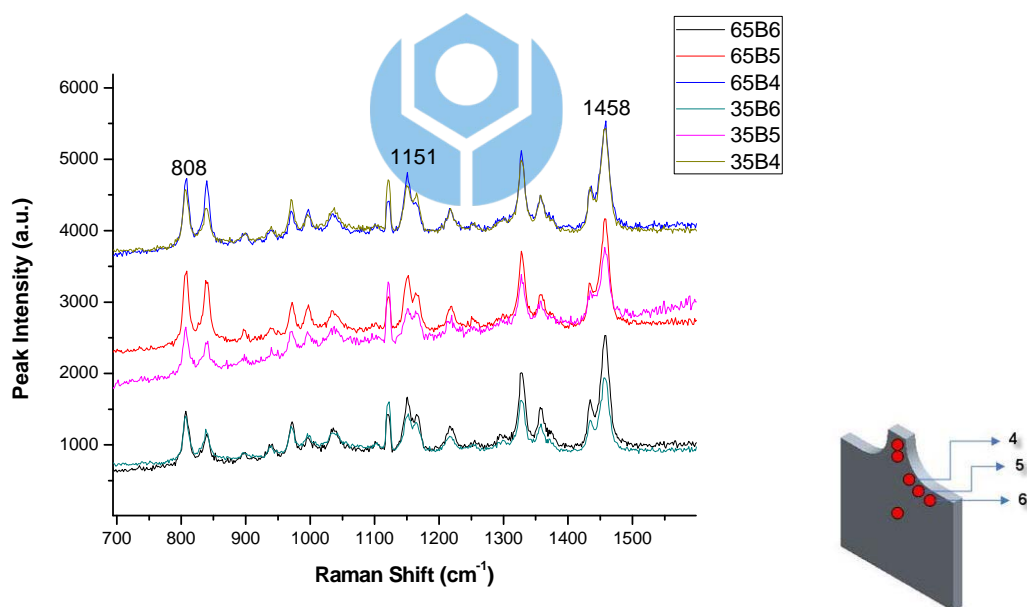


Fig5-15 PP拉曼光譜-模溫35°C及65°C-B穴垂直方向(4，5，6)



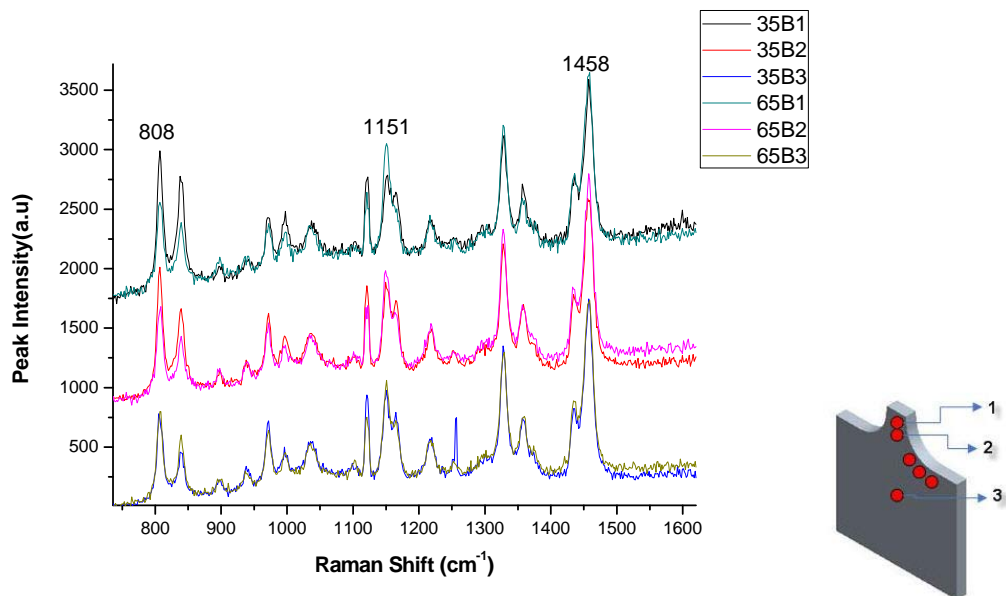


Fig5-16 PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴垂直方向(1，2，3)

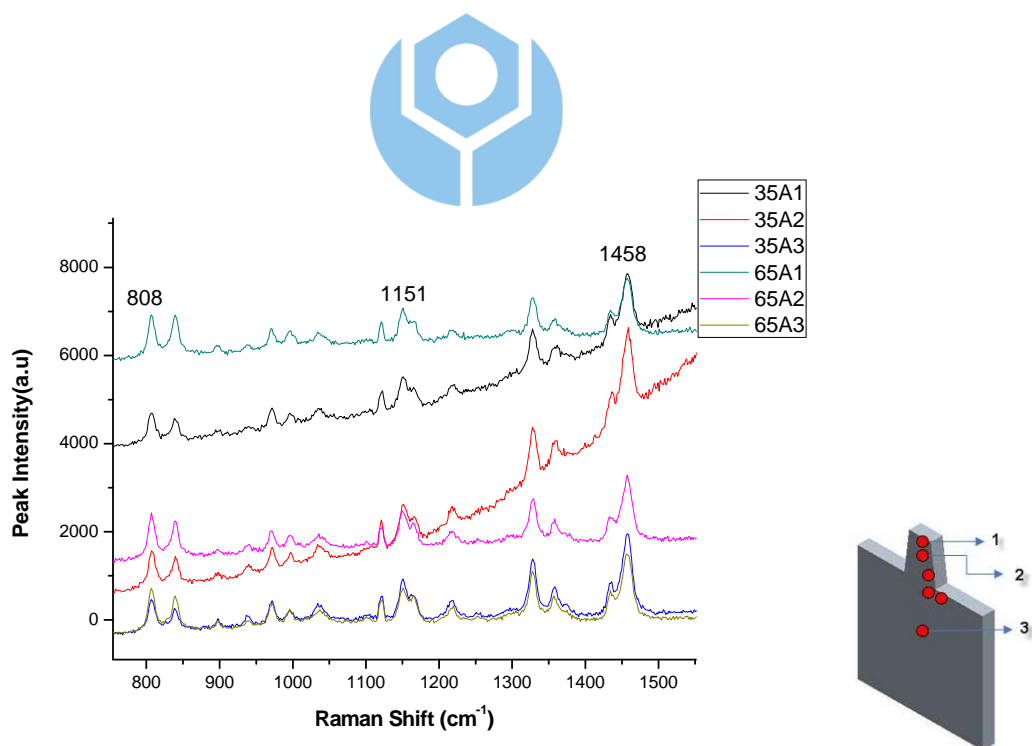


Fig5-17 PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-A穴垂直方向(1，2，3)

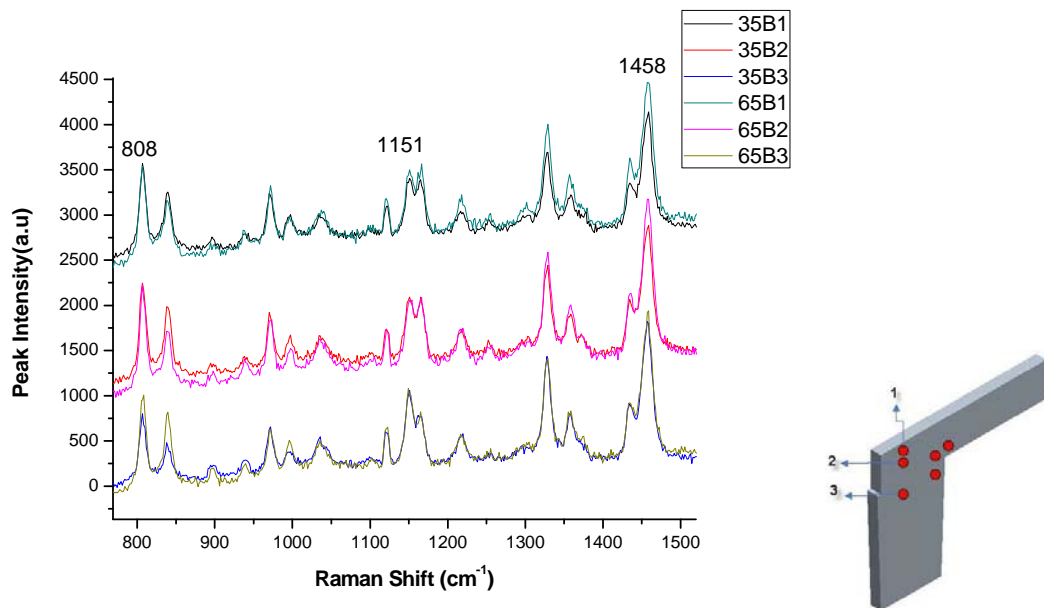


Fig5-18 PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴平行流方向(1，2，3)

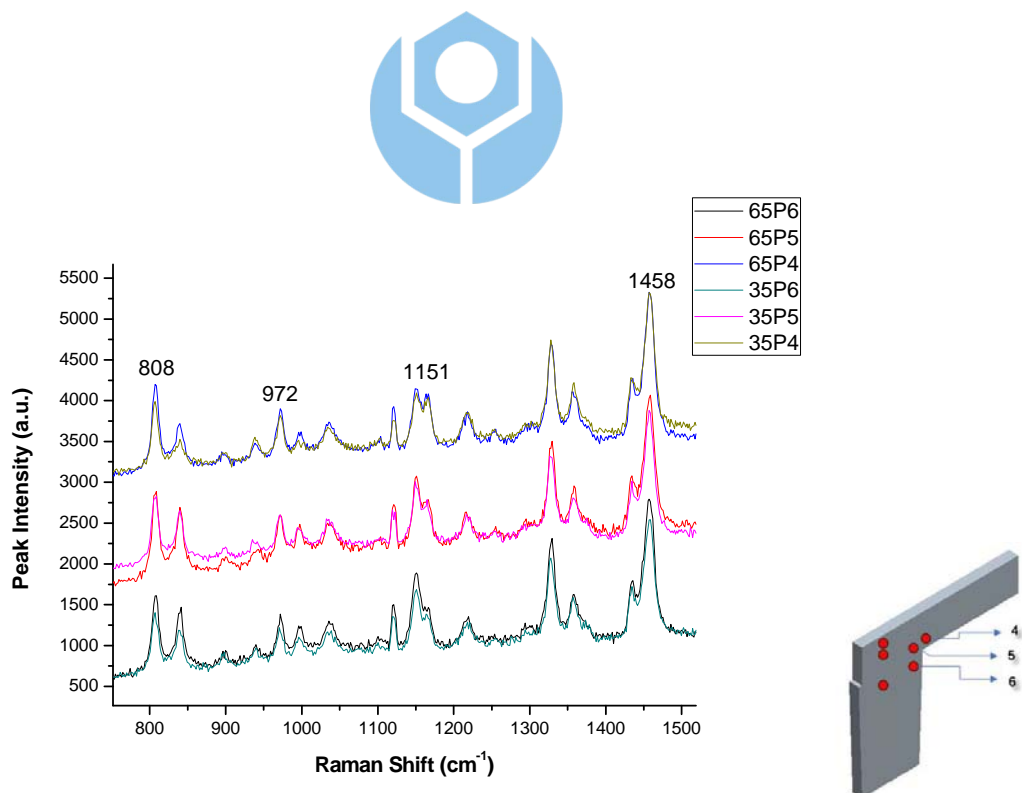


Fig5-19 PP拉曼光譜-模溫35°C與65°C-B穴平行流方向(4，5，6)

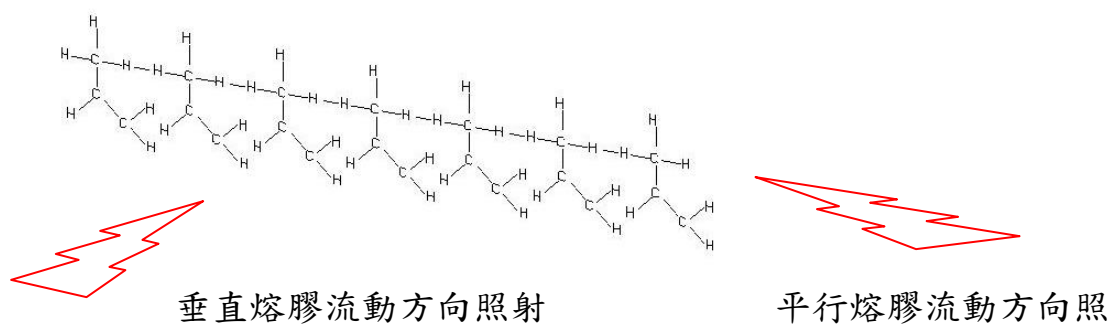

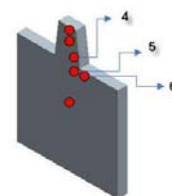
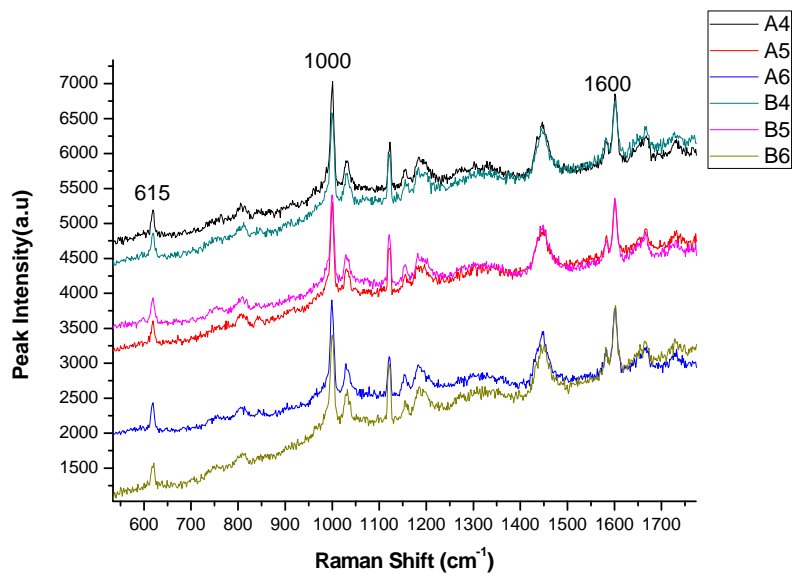


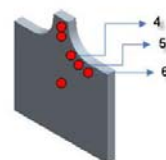
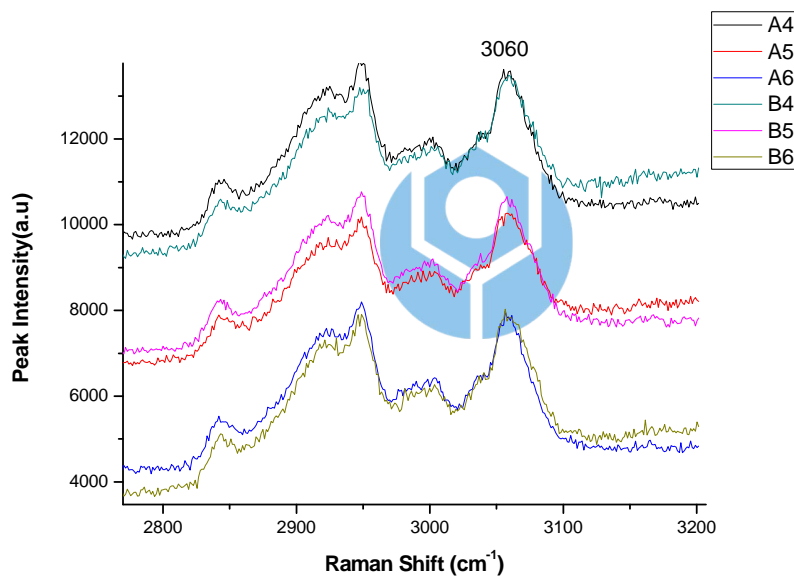
Fig5-20 模擬PP高分子鏈不同方向的照射

表5-5 ABS拉曼位移與分子官能基振動模式對照表[28]

| Raman Shift (cm <sup>-1</sup> ) |  | Vibrational Assignment |
|---------------------------------|---|------------------------|
| 615                             |   | δ(C-H ring bending)    |
| 1000                            |   | vs(C-H)                |
| 1020                            |   | δ(C-H)                 |
| 1580                            |   | C-H ring deformation   |
| 1600                            |   |                        |
| 1640                            |   | 乙烯基                    |
| 1650                            |   | 丁二烯                    |
| 1665                            |   | v(C=C)                 |
| 2240                            |   | v(丙烯晴 C≡N)             |
| 3060                            |   | vs(C-H)                |



A 穴



B 穴

Fig5-21 ABS拉曼光譜-模溫50°C-A、B穴垂直方向(4, 5, 6)

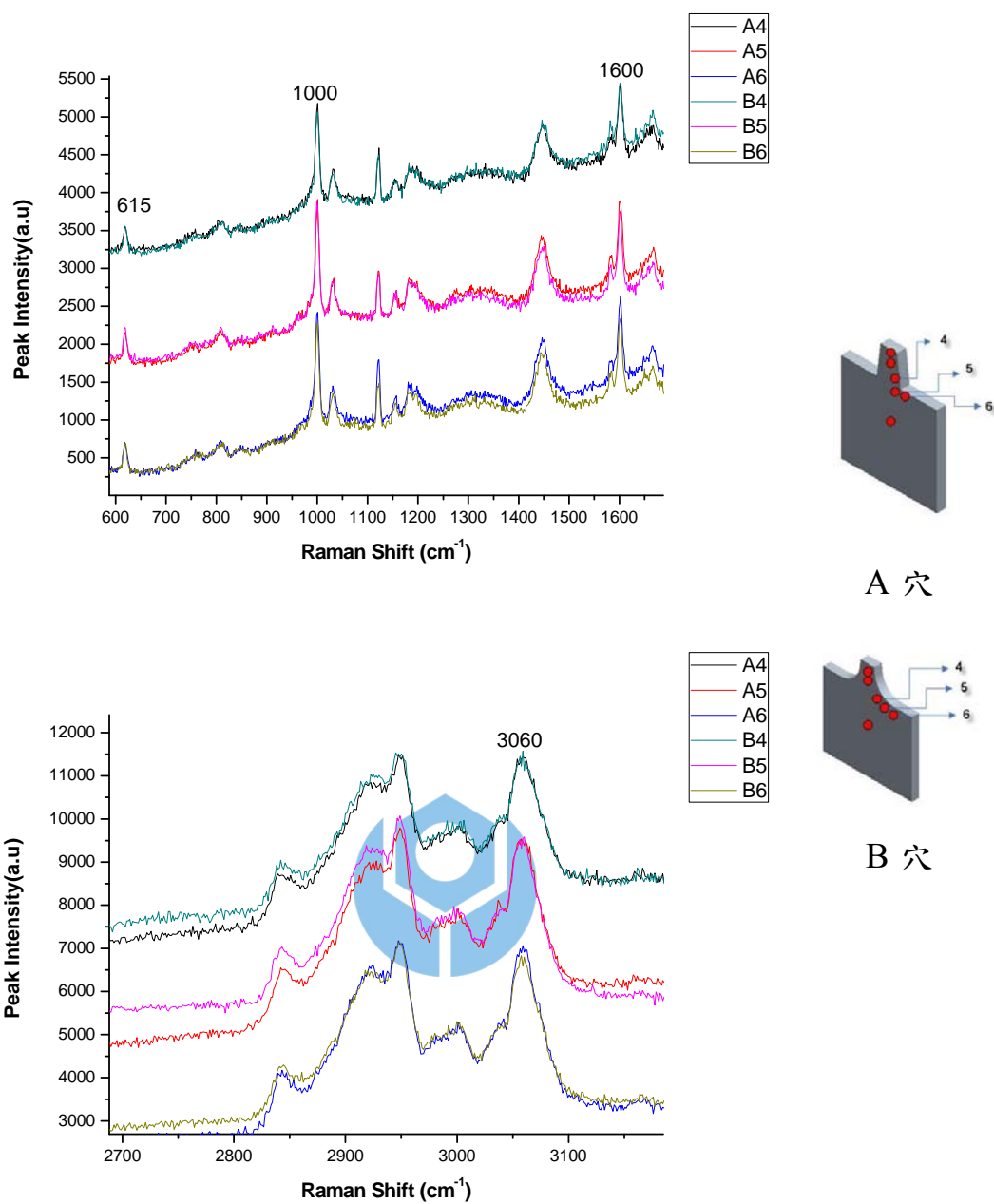


Fig5-22 ABS拉曼光譜-模溫90°C-A、B穴垂直方向(4，5，6)

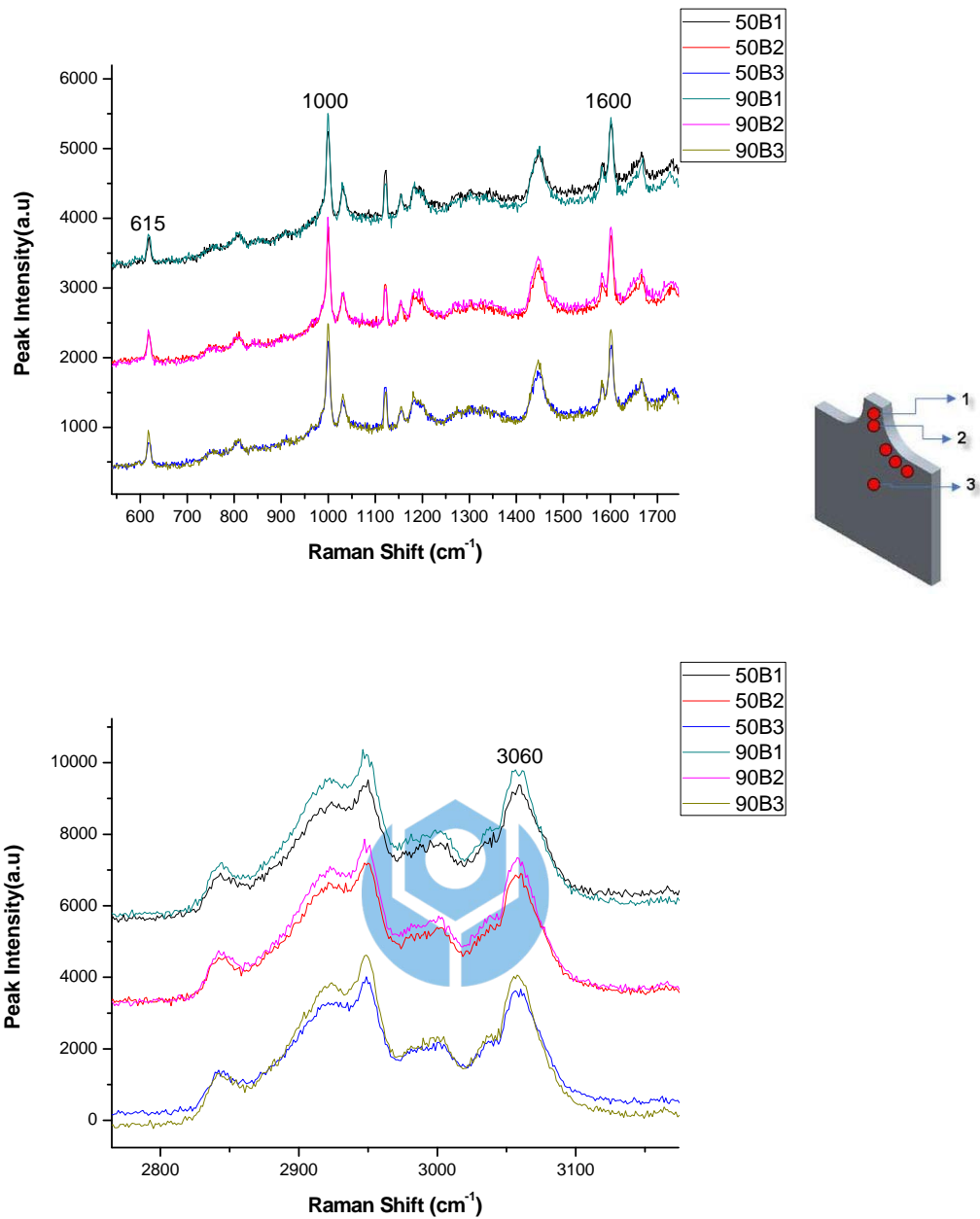


Fig5-23 ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴垂直方向(1，2，3)

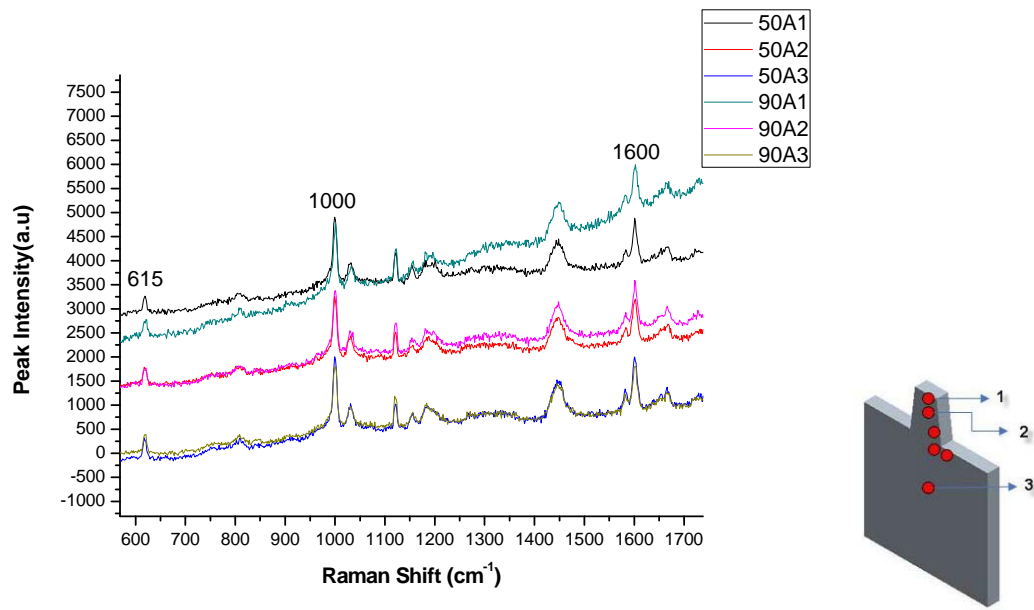


Fig5-24 ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-A穴垂直方向(1，2，3)

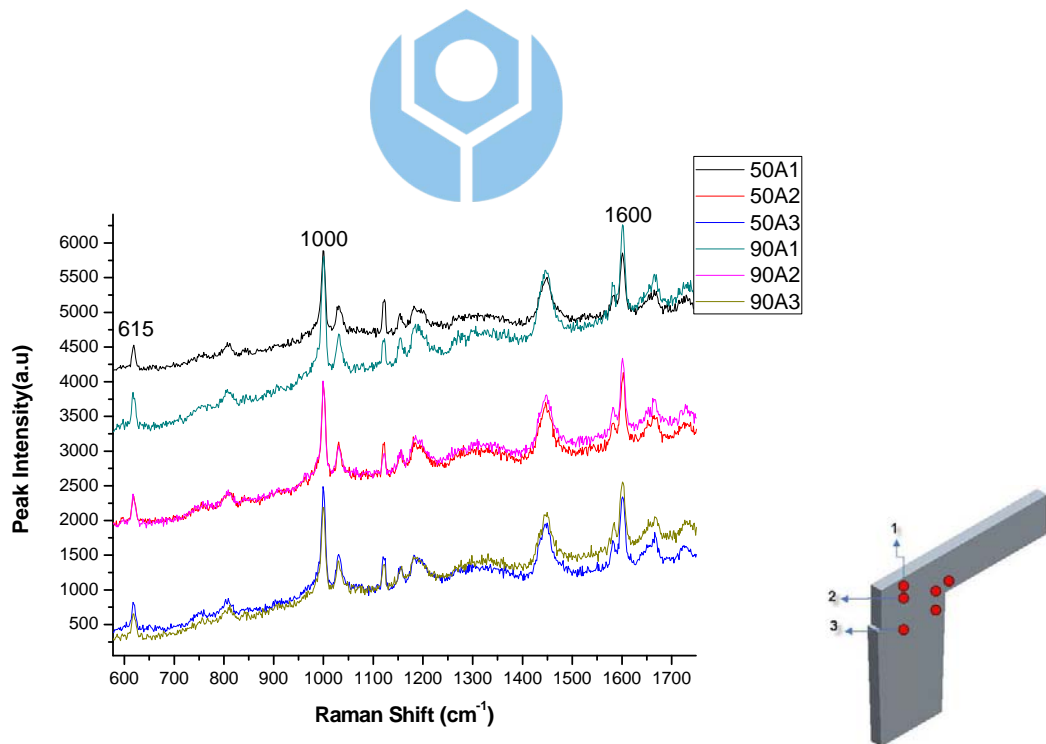


Fig5-25 ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴平行流方向(1，2，3)



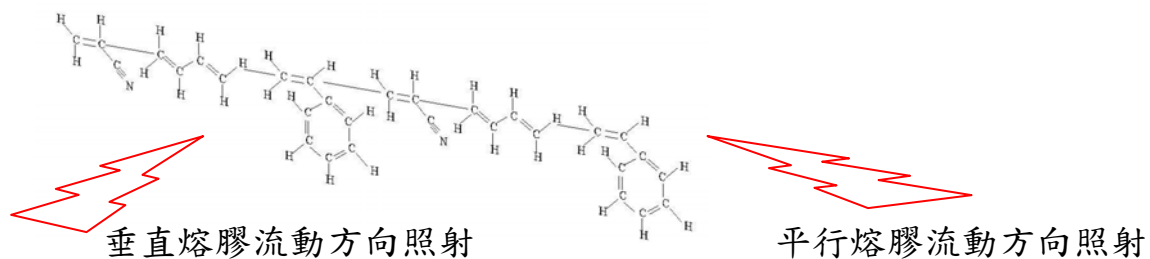


Fig5-26 模擬ABS高分子鏈不同方向的照射

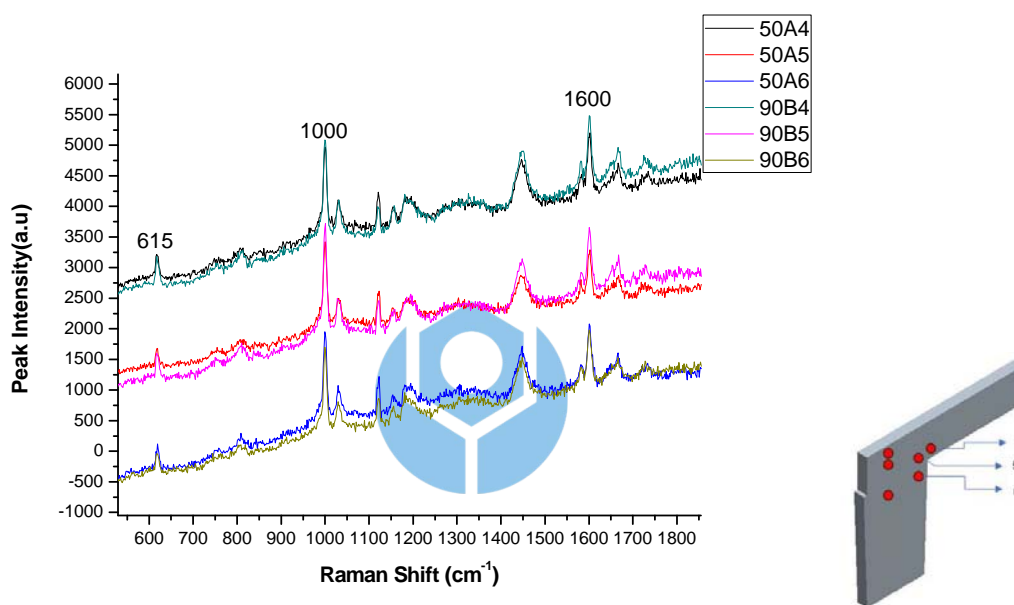
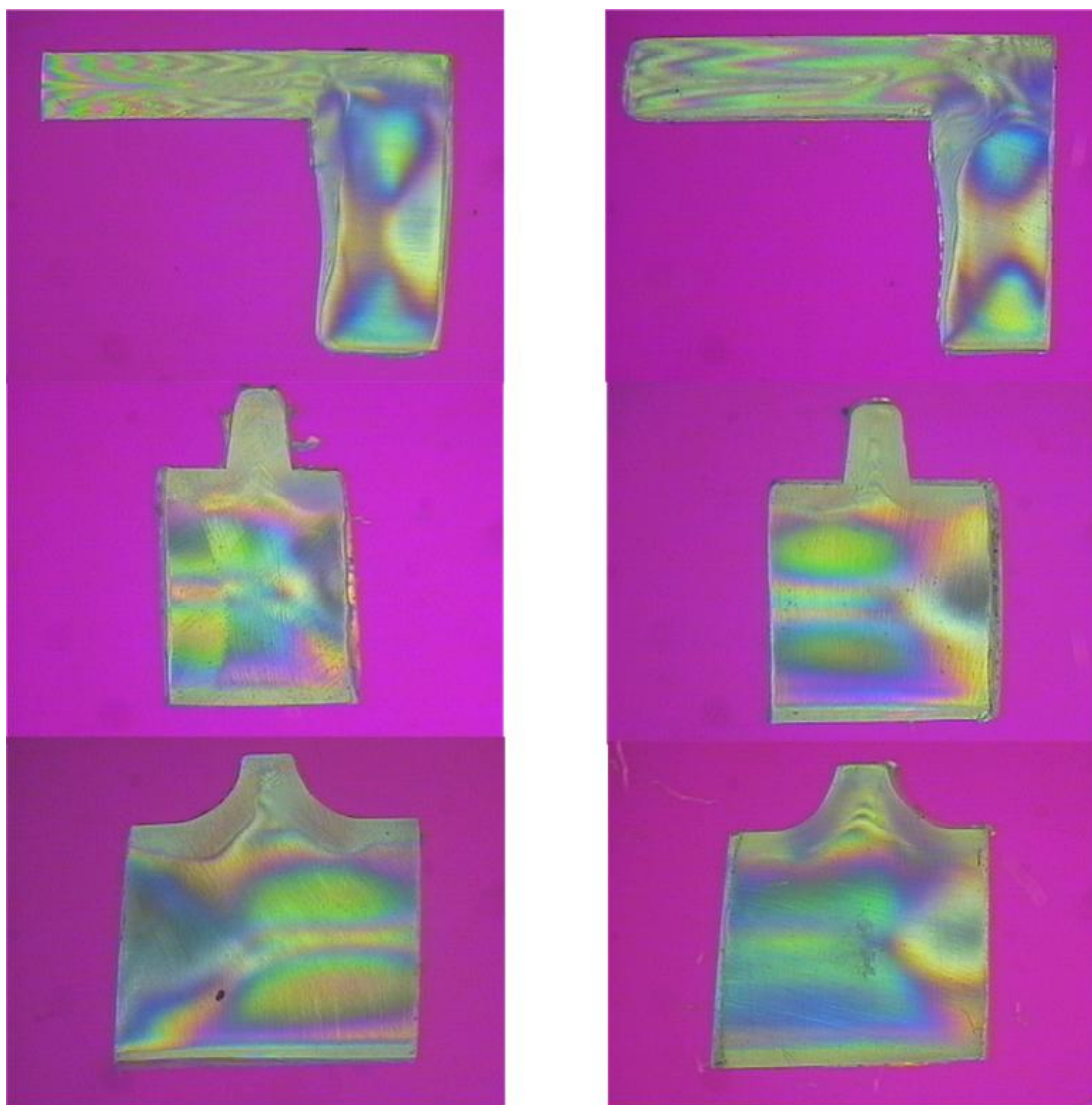


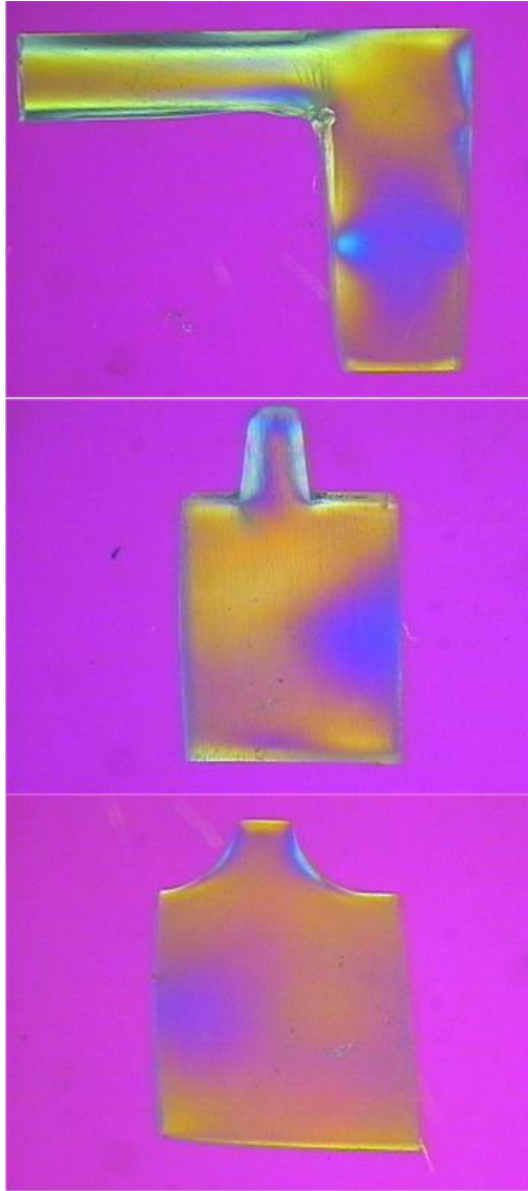
Fig5-27 ABS拉曼光譜-模溫50°C與90°C-B穴平行流方向(4，5，6)



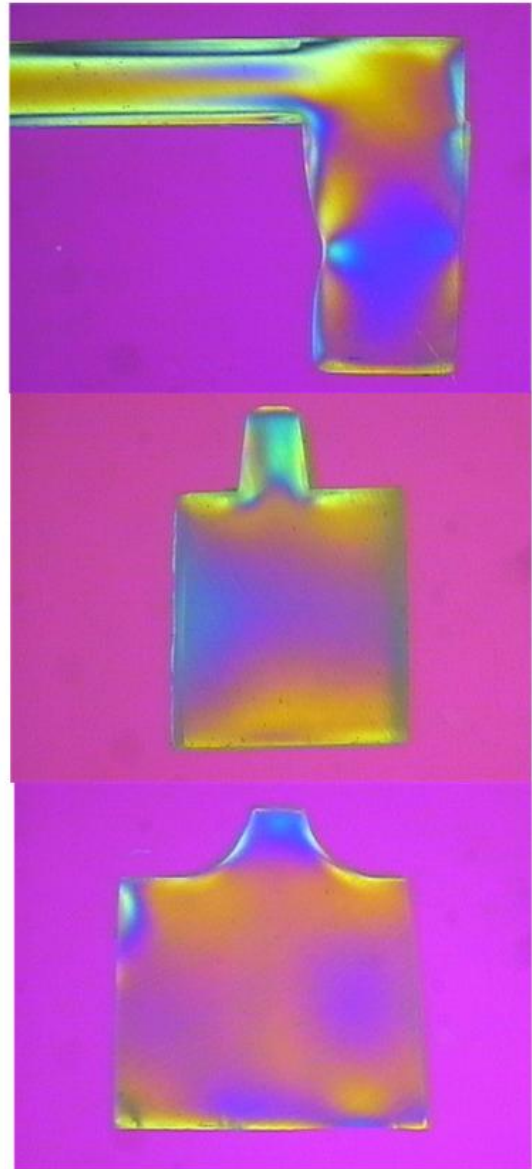
PP Tm 35°C

PP Tm 65°C

Fig5-28 PP應力光彈圖



ABS Tm 50°C



ABS Tm 90°C

Fig5-29 ABS應力光彈圖

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本研究應用拉曼光譜探討按鍵彈臂與外框結構搭接處在射出成形時，塑膠材料在搭接處的分子配向行為。首先以模流分析作為實際射出成形的驗證工具，比較短射實驗與模流分析是否一致，再加以分析射出成形時模穴內的溫度與剪切率的變化。材料分子的配向分析則使用拉曼光譜儀作一定性的分析，探討 PP 與 ABS 在不同模溫時的分子配向性，由先前結果討論可得結論如下。

- (1) 在模流分析中發現 PP 的翹曲量比 ABS 大，如表 5-1 與表 5-2 所示，符合結晶性材料 PP 縮水率較非晶性材料 ABS 大的物性，表示翹曲模擬有其準確度，適當的射速與保壓配合才可得到最低的翹曲量。
- (2) 由模流分析中觀察 A 穴的溫度與剪切率比較時發現，剪切率較大的區域的溫度梯度變化較大。
- (3) 在短射實驗方面，從短射比較圖中可發現模擬結果與實際短射實驗結果相當接近，表示模擬結果與實際射出實驗有相當程度的準確性。
- (4) 本研究設定的模具溫度變化，由拉曼光譜成功的觀察到表面層 (skin layer) 與剪切層 (shear layer) 的拉曼光譜峰值強度不同於表面

層，表示表面層與剪切層分子鏈被拉長凝固後側鏈外露較多，因此分子配向性高於核心層(core layer)。

- (5) 本研究設定的模具溫度變化，觀察到表面層與剪切層的拉曼光譜峰值強度不同於核心層，表示表面層與剪切層分子鏈被拉長凝固後鏈段外露較多，因此分子配向性高於核心層，碳氫鍵(CH)側鏈的光譜強度垂直流方向的大於平行流。
- (6) 由應力光彈儀中可確認彈臂與外框結構搭接處的R角殘留應力比直角小。

## 6.2 建議

- (1) 可加大模具溫度的差異性，並加入料溫的因子，增加溫度差異，較易觀察出溫度對分子配向的影響。
- (2) 模流分析的網格，可加大非重要區域的網格尺寸，可在重點區域如彈臂與搭接區域可加密網格，可節省模擬時間。
- (3) 在切割試片方面，設計新的夾治具可夾持固定成品，以機器加工，減少手工拋光的不確定因素。
- (4) 可找出拉曼光譜中的相關峰值比(Intensity/Ratio)，可依此數據比較出分子配向的差異性，加以統計數據的方式分析出射出參數與峰值強度的關連性。
- (5) 可增加使用穿透式電子顯微鏡 TEM 或掃描式電子顯微鏡 SEM，

與拉曼光譜交互比對驗證。

- (6) 不定性材料可改用 PC 或 PMMA 等單種的聚合物，降低 ABS 三種共混聚合物觀察的難度。



## 參考文獻

- [1] 黃東鴻，薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究，碩士論文，國立成功大學航空太空工程研究所，台南，2002(Huang, "Study on Warpage & Residual Stress of Thin-Wall Injection Molding", Department of Mechanical Engineering, National Cheng Kung University, 2002
- [2] G. S. Layser , J. P. Coulter, "Localized Effects of Dynamic Melt Manipulation on Flow Induced Orientation and Mechanical Performance of Injection Molded Products", *Polymer Engineering and Science*, 2007
- [3] 林政佑，功能按鍵之彈臂斷面設計與射出成形最佳化，國立台灣科技大學機械工程研究所碩士論文，2008(Lin, "Feature Design of Function Key's Arm of Optimization of Injection Molding", Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, 2008)
- [4] Z. Tadmor, "Molecular Orientation in Injection Mold" *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.18, PP1753-1772, 1974
- [5] M. Takeshima and N. Funakoshi, "Molecular Orientation Distribution in Injection-Molded Polycarbonate Discs", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.32, 3457-3468, 1986
- [6] Jean-Pierre Trotignon and J. Verdu, "Skin-Core Structure-Fatigue Behavior Relationships for Injection-Molded Parts of Polypropylene. I. Influence of Molecular Weight and Injection Conditions on the Morphology", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.34, 1- 18, 1987
- [7] S. M. Lee, C. H. Choi and B. K. Kim, "SAN Blend with a Phenoxy Polymer: Morphology and Properties", *Eur. Polym. J*, Vol. 30, No. 8, pp. 993-998, 1994



- [8] K. M. B. Jansen, D. J. V. Dijk and M. H. Husselman, "Effect of Processing Conditions on Shrinkage in Injection Molding", *Polymer Engineering and Science*, Vol.38, No. 5, 1998
- [9] N. M. Neves and A. S. Pouzada, "The Use of Birefringence for Predicting the Stiffness of Injection Molded Polycarbonate Discs", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, No. 10, 1998
- [10] 陳嘉濠，高分子熔膠微流道流變特性之研究，碩士論文，中原大學機械程研究所，2003(Chen, "Study of Polymer Melt Rheological Behavior Flowing Through Micro-Channel", Department of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, 2003)
- [11] J. C. Viana, N. M. Alves and J. F. Mano, "Morphology and Mechanical Properties of Injection Molded Poly (Ethylene Terephthalate)," *Polymer Engineering and Science*, Vol.44, No.12, 2004
- [12] B. Na, K. Wang, Q. Zhang, R. Du and Q. Fu, "Tensile properties in the oriented blends of high-density polyethylene and isotactic polypropylene obtained by dynamic packing injection molding," *Polymer*, 2005
- [13] J. Li, Q. Zhang, C. Wang, H. Yang, R.-n. Du and Q. Fu, "Effect of Compatibility on Phase Morphology and Orientation of Isotactic Polypropylene (IPP) Blends Obtained by Dynamic Packing Injection Molding", *Chinese Journal of Polymer Science*, Vol. 24, No. 4, 2006
- [14] 范智翔，聚丙烯及聚甲基丙烯酸甲酯射出成形品的高次構造之初步觀察與分析，碩士論文，國立交通大學機械工程研究所，新竹，2008(Fan, "Preliminary Study of the

- Superstructure of the Injection Molded Polypropylene and Polymethylmethacrylate Parts", Department of Mechanical Engineering, National Chiao Tung University,2008)
- [15] 陳正剛，微結構射出成形過程的數值模擬分析，碩士論文，國立交通大學機械工程研究所，新竹，2008(Chen, "Simulation of the injection Molding of Micro Structure, Department of Mechanical Engineering, National Chiao Tung University,2008)
- [16] O. Murakami, K. Yamada, M. Kotaki and H. Hamada, "Evaluation of Molecular Orientation in Injection Molded Parts with Microscale Features by Raman Spectroscopy", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.112, 1607-1614, 2008
- [17] J. Martine, S. Margueron, M. Fontana, M. Cochez and P. Bourson, "Study of the Molecular Orientation Heterogeneity in Polypropylene Injection-Molded Parts by Raman Spectroscopy", *Polymer Engineering and Science*, 2010
- [18] 陳宜正，具補強肋之塑膠射出壓縮成形品表面凹痕與翹曲變形研究，碩士論文，雲林科技大學機械系，2001(Chen, "A Study on Sink Marks and Warpage of Plastic Injection Compression Molding Products with Plate-Ribs", Department of Mechanical Engineering, National Yunlin University of Science and Technology,2001)
- [19] 陳永坤，雙面微溝槽之薄件射出成形研究，碩士論文，國立台灣科技大學機械工程系,2005(Chen, "Study on Injection Molding of Thin Plate with Double Side Micro Grooves" Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, 2005)
- [20] 張鮮文，光學元件射出成形體積收縮與光學均勻性之研

- 究，碩士論文，國立台灣科技大學機械工程系，2007(Chang, "Study on Volumetric Shrinkage and Optical Uniformity for Injection Molding of Optical Parts" Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, 2008)
- [21] 胡德，高分子物理與機械性質(上,下)，渤海堂文化公司，1990(Hu, "Polymer Physics and Mechanical Prosperity", Bohai Tan Cultural Co)
- [22] 胡雲宏，射出成形寶典，塑膠工業技術發展中心，2007(Hu, "Book of Injection Molding" Plastic Industrial Development Center,2007)
- [23] 劉士榮，高分子流變學，滄海書局，2005(Liu, "Polymer Rheology" Tsang Hai Book Publishing Co,2005)
- [24] 張榮語，射出成形模具設計，高立圖書有限公司，2004(Chang, "Injection Molding Design" Gau Lih Book Co.,Ltd,2004)
- [25] 科盛科技，模流分析技術與應用，全華科技圖書股份有限公司，2007(Moldex3d, "The Application of Moldflow Analysis and Technology" Chuan Hwa Book Co.,Ltd,2008)
- [26] 汪健民，材料分析，中國材料科學學會，2005(Wong, "Material Analysis" Material Research Society Taiwan,2005)
- [27] 伊保內賢、洪榮哲，實用塑膠學，全華科技圖書公司，1993(Hung, "Practical Plastics" Chuan Hwa Book Co.,Ltd)
- [28] H. W. Siesler and K. Holland-Mortiz，"Infrared and Raman Spectroscopy of Polymers", Marcel Dekker Inc, 1980
- [29] A. S. Nielsen, D. N. Batchelder and R. Pyrz, "Estimation of Crystallinity of Isotactic Polypropylene using Raman

Spectroscopy " Polymer, 2001



## 附錄 A FANUC ROBOSHOT $\alpha 15$ -*IA* 機台規格

### FAUNC ROBOSHOT $\alpha$ -15ia

#### Mechanical specification

| Item           |                                | Unit               | Data  |     |
|----------------|--------------------------------|--------------------|---|-----|
| Clamp unit     | Clamping mechanism             | ---                | Double toggle                                       |     |
|                | Tonnage                        | mm                 | 150(15tonf)   |     |
|                | Maximun and minimum die height | mm                 | 260-130   |     |
|                | Clamping stroke                | mm                 | 160   |     |
|                | Locating ring diameter         | mm                 | $\psi 60$   |     |
|                | Tie bar spacing(H*V)           | mm                 | 235*235   |     |
|                | Platen size(H*V)               | mm                 | 330*330   |     |
|                | Minimum mold size(H*V)         | mm                 | 135*135   |     |
|                | Ejector stoke                  | mm                 | 50  |     |
|                | Maximun ejector force          | KN                 | Std.7(0.7tonf)/High-speed ejector option 4(0.4tonf) |     |
| Injection unit | Screw diameter                 | mm                 | 16  | 18  |
|                | injection stroke               | mm                 | 56  | 56  |
|                | Maximun injection volume       | cm <sup>3</sup>    | 11  | 14  |
|                | Maximun injection pressure     | Mpa                | 240   | 190 |
|                | Maximun pack pressure          | Mpa                | 220   | 170 |
|                | Maximun injection rate         | cm <sup>3</sup> /s | 40  | 51  |
|                | Maximun injection rate         | mm/s               | 200   |     |
|                | Maximun screw rotation speed   | Min <sup>-1</sup>  | 450   |     |
|                | Nozzle touch force             | KN                 | 3(0.3tonf)  |     |
| Screw&Barrel   | Number of pyrometers           | Barrel             | 3   |     |
|                |                                | Nozzle             | 1   |     |
|                | Total heater wattage           | Kw                 | 2.8   | 3.1 |
| Machine weght  |                                | t                  | 1.2(Approximately)                                  |     |

## 附錄 B 大同-NAK80 鋼料之機械性質

高級鏡面塑膠模專用析出硬化形預硬鋼-大同“NAK80”

主要成份：

| C         | Si       | Mn      | Ni      | Al      | Cu      | Mo      |
|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.05~0.18 | 0.15~1.0 | 1.0~2.0 | 2.5~3.5 | 0.5~1.5 | 0.7~1.5 | 0.1~0.4 |

特 性：(1)鏡面研磨性能甚佳。

○1因施予特殊溶解及精煉，故雜質非常少。

○2組織緻密。

(2)放電加工性能甚佳。

○1因其加工面緻密且漂亮，故可能取代梨皮蝕花。

○2因加工面之硬度不會升高，故研磨加工較快且容易。

(3)焊接性能甚佳。

(4)不需要作熱處理，可直接加工製造模具。

(5)原材硬度HRC36~45。

用 途：

|      | 限 用 NAK 80                 | NAK 80與其他鋼種皆適用   |
|------|----------------------------|--|
| 家庭用品 | 透明的磅秤薄片、齒輪、檯燈座和燈罩。         | 錄影機零件（底盤、面蓋、前板）<br>錄影機的攝影機機身<br>錄影機前板<br>音響遮蓋<br>吸塵器機身 |
| 汽 車  | 煙灰缸、後車燈、鏡子<br>車速箱的透明面板、接頭。 |  |

|      |                                |    |
|------|--------------------------------|----|
| 家用家具 | 清洗槽、碗、文件箱、名片盒、原子筆、廚房用具、牙刷、廁所用具 | 玩具 |
| 電腦   | 透明蓋、鍵盤、齒輪、磁帶輪                  |    |
| 相機   | 機體、鏡片                          |    |
| 傳播   | 電話機身                           |    |

物理性質：

| 熱膨脹係數<br>( $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) |                        |                        | 熱傳導率<br>$\text{cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ | 彈性係數<br>( $\text{kg f} / \text{mm}^2$ ) |                    | 電阻<br>$\mu\Omega\text{cm}$ |
|--|------------------------|------------------------|--|---|--------------------|----------------------------|
| 20~100 $^\circ\text{C}$                        | 20~00 $^\circ\text{C}$ | 20~00 $^\circ\text{C}$ | 200 $^\circ\text{C}$   | 拉伸                                      | 剪切                 | 31.5                       |
| 11.3   | 12.5                   | 13.4                   | 0.095  | $21 \times 10^4$                        | $0.76 \times 10^4$ |                            |

機械性質： NAK80的機械性質（20 $^\circ\text{C}$ ）

|  |
|--|
| 硬 度：HRC 41   |
| 降 伏 強 度：103kg f/mm <sup>2</sup> (147ksi)<br>(0.2% offset)                          |
| 抗 拉 強 度：128kg f/mm <sup>2</sup> (183ksi)   |
| 斷 面 縮 率：39.8%  |
| 伸 長 率：15.6%  |
| 衝 擊 值：2.0kg f-m/cm <sup>2</sup> (151bf-ft) (縱向)<br>(U-notch, 20 $^\circ\text{C}$ ) |

NAK80在高溫的機械性質

| 測 試 溫 度 ( $^\circ\text{C}$ ) |     |      |      |
|------------------------------|-----|------|------|
| 100                          | 200 |      | 300  |
| 抗 拉 強 度 (ksi)                | —   | 164  | 143  |
| 斷 面 縮 率 (%)                  | —   | 38.5 | 40.1 |
| 伸 長 率 (%)                    | —   | 15.9 | 16.0 |
| 衝 擊 值 *                      | 1.8 | 3.6  | 3.5  |
| 硬 度 (HV)                     | 395 | 375  | 360  |

資料來源：天文大同特鋼股份有限公司



## 附錄 C 奇美 ABS PA-758 物性表

**CHIMEI**  
奇美實業股份有限公司  
CHI MEI CORPORATION

台南縣仁德鄉三甲村 59-1 號  
TEL: 886-6-266-5000 FAX: 886-6-266-5555-7

### 透明 ABS, POLYLAC<sup>®</sup> PA-758

March 6, 2009 V1W

#### 材料規格：

| 特性<br>(Properties)                | 測試方法<br>(Test Method)  | 測試條件<br>(Test Condition) | 單位(Unit)                                    | PA-758                            |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|---|-----------------------------------|
| 引張強度<br>Tensile Strength          | ASTM D638              | 1/8", 6 mm/min           | Kg/cm <sup>2</sup><br>(lb/in <sup>2</sup> ) | <b>405</b><br><b>(5,740)</b>      |
| 彎曲強度<br>Flexural Strength         | ASTM D790              | 1/4", 2.8 mm/min         | Kg/cm <sup>2</sup><br>(lb/in <sup>2</sup> ) | <b>550</b><br><b>(7,780)</b>      |
| 彎曲彈性率<br>Flexural Modulus         | ASTM D790              | 1/4", 2.8 mm/min         | Kg/cm <sup>2</sup><br>(lb/in <sup>2</sup> ) | <b>19,000</b><br><b>(270,000)</b> |
| IZOD 衝擊強度<br>Izod Impact Strength | ASTM D256<br>(Notched) | 1/4", 23°C               | Kg-cm/cm                                    | <b>16</b>                         |
| 流動係數<br>Melt Flow Index           | ASTM D1238             | 200°C, 5Kg               | g/10min                                     | <b>3.0</b>                        |
|                                   |                        | 220°C, 10Kg              |   | <b>34</b>                         |
| 比重<br>Specific Gravity            | ASTM D792              | 23°C                     | -   | <b>1.08</b>                       |
| 軟化點<br>Vicat Softening Temp.      | ASTM D1525             | 1/8", 50°C/hr            | °C(°F)                                      | <b>105(221)</b>                   |
| 熱變形溫度<br>H.D.T.                   | ASTM D648              | 1/4", 120°C/hr           | °C(°F)                                      | <b>88(190)</b>                    |
| 濁度<br>Haze                        | ASTM D1003             | 1/8"                     | -   | <b>4.0</b>                        |
| 光線透過率<br>Light Transmission       | ASTM D1003             | 1/8"                     | %   | <b>89</b>                         |
| 燃燒率<br>Flammability               | UL 94                  | -                        | -   | <b>1/16" HB</b>                   |

以上數據僅代表一般通用數據，不代表每一產品的規格值

## 附錄 D JPP PP MG3FTA 物性表

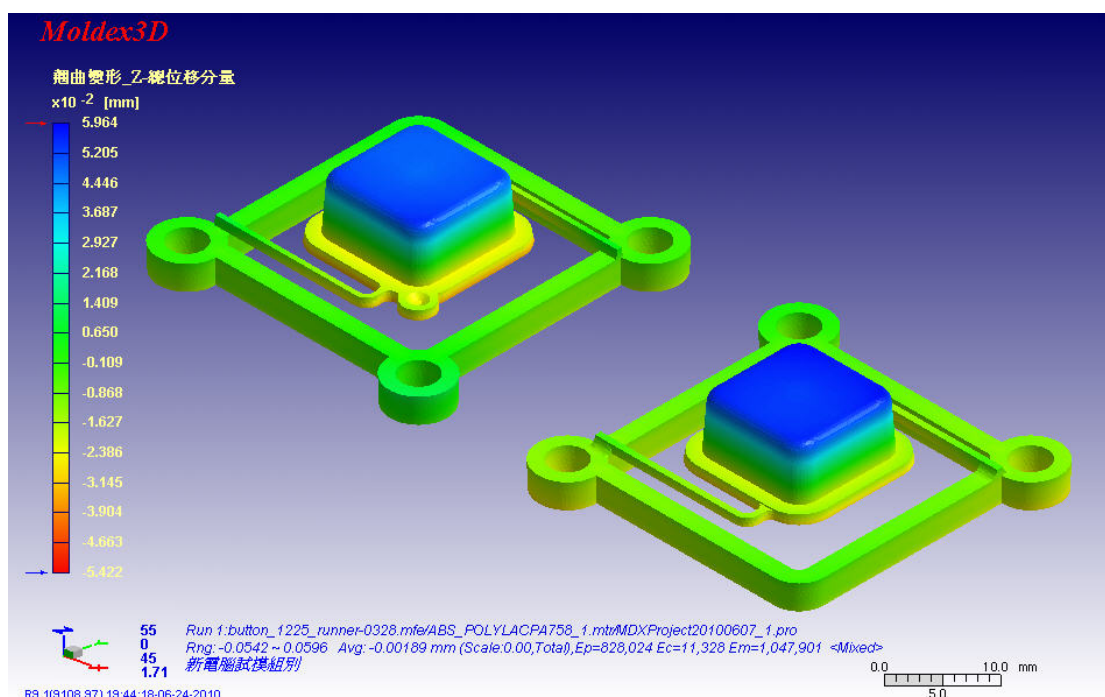


### TYPICAL PROPERTIES OF NOVATEC MG3FTA AND MG3FT

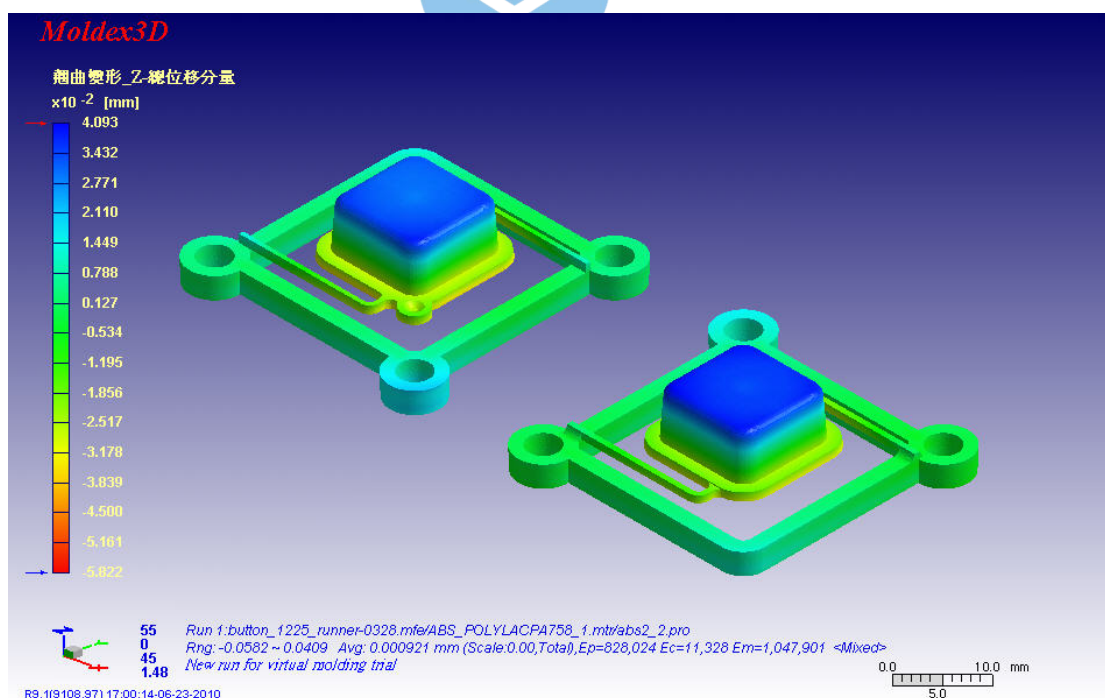
| ITEMS  |                   |   | VALUE  |       | TEST METHOD         |
|--|-------------------|---|--------|-------|---------------------|
|  |                   |   | MG3FTA | MG3FT |                     |
| MFR  | g/10min           |   | 8.3    | 8.4   | JIS K7210:1990      |
| FLEXURAL MODULUS                                 | MPa               |   | 1,260  | 1,250 | JIS K7171:1994      |
| FLEXURAL STRENGTH                                |                   |   | 37     | 37    |                     |
| TENSILE MODULUS                                  | MPa               |   | 1,350  | 1,340 | JIS K7161,7162:1994 |
| TENSILE STRESS AT YIELD                          |                   |   | 32     | 32    |                     |
| NOMINAL TENSILE STRAIN AT BREAK                  | %                 |   | >400   | >400  |                     |
| CHARPY IMPACT STRENGTH                           | kJ/m <sup>2</sup> |   | 3.9    | 4.0   | JIS K7111:1996      |
| ROCKWELL HARDNESS                                | R scale           |   | 85     | 85    | JIS K7202:2001      |
| TEMPERATURE OF DEFLECTION UNDER LOAD<br>0.45 MPa | °C                |   | 86     | 85    | JIS K7191-1,2:1996  |
| GLOSS  | %                 |   | 91     | 90    | JIS Z8741:1997      |
| HAZE (1mmt SHEET)                                | %                 |   | 9      | 10    | JIS K7136:2000      |
| MOLD SHRINKAGE<br>(2mmt SHEET)                   | LENGTH            | % | 1.9    | 1.9   | JPP METHOD          |
|  | WIDTH             |   | 1.6    | 1.6   |                     |

- Analysis is performed on representative samples.
- Data should not be used for specification work.

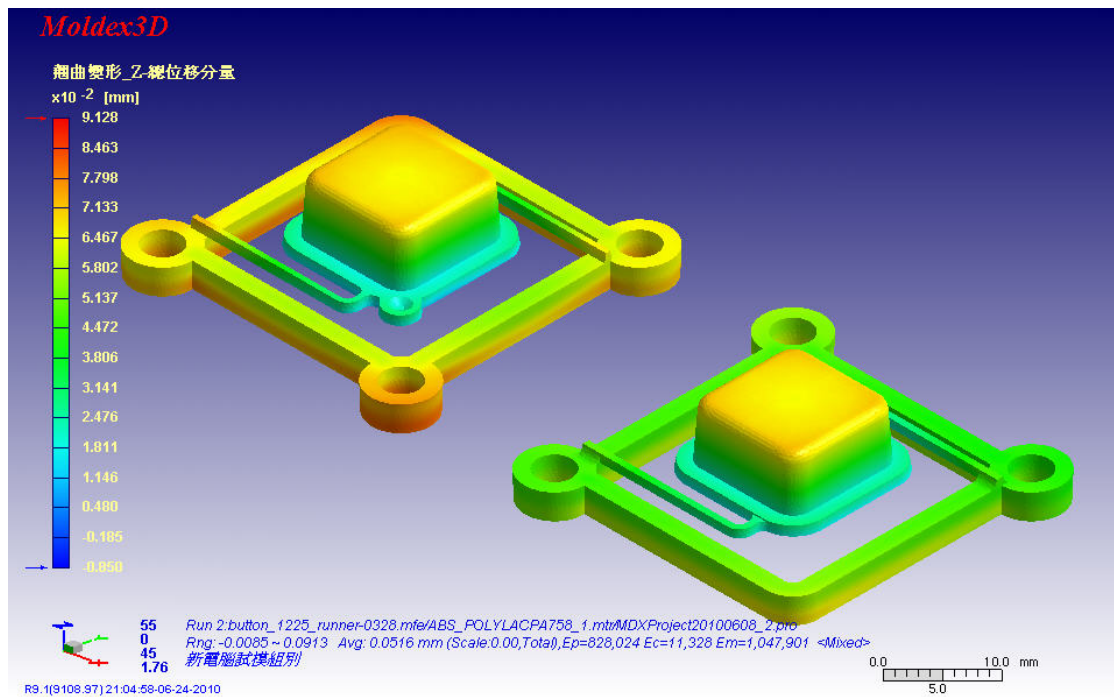
## 附錄 E Moldex3d R9.1 翹曲量分析結果



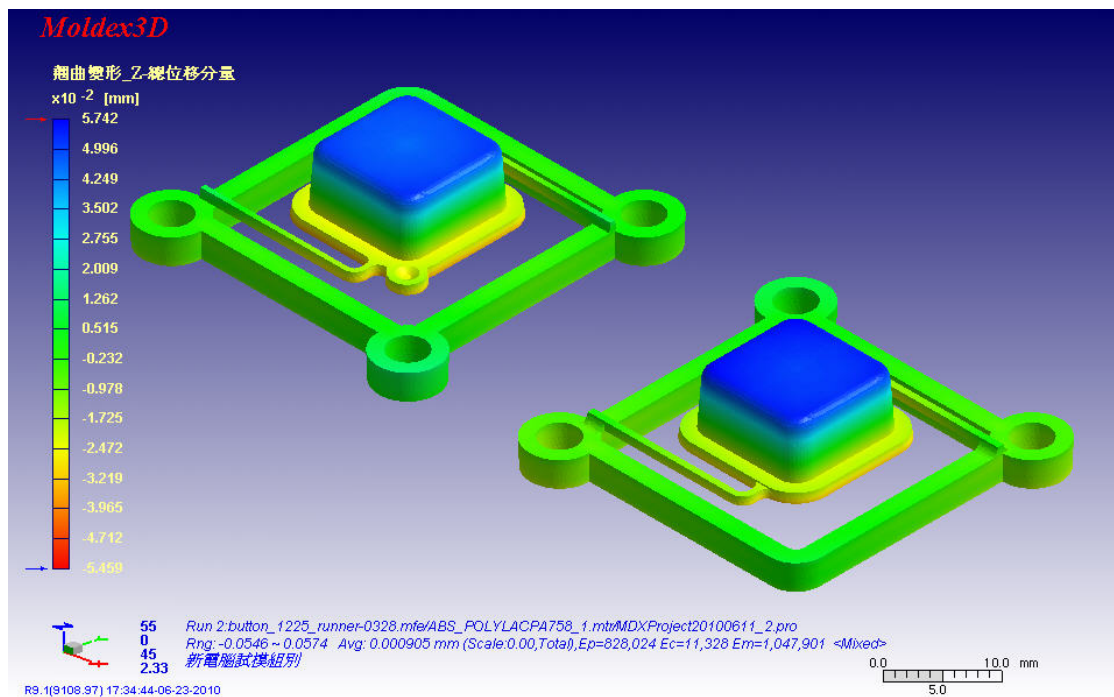
ABS 第 1 組參數翹曲分析結果



ABS 第 2 組參數翹曲分析結果

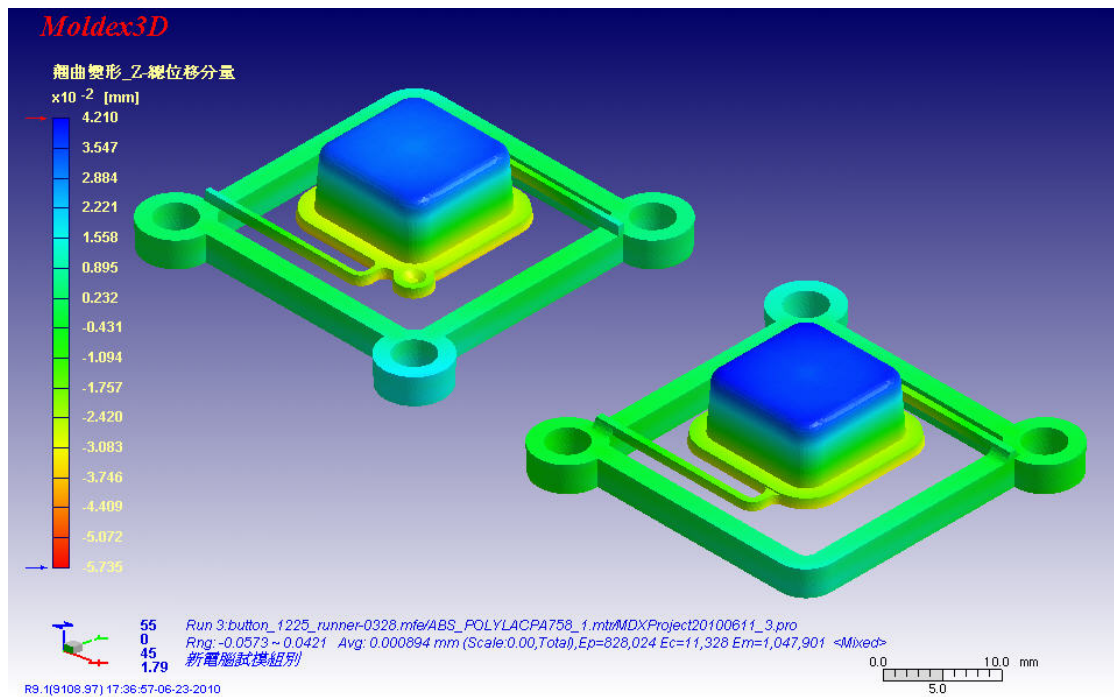


ABS 第 3 組參數翹曲分析結果

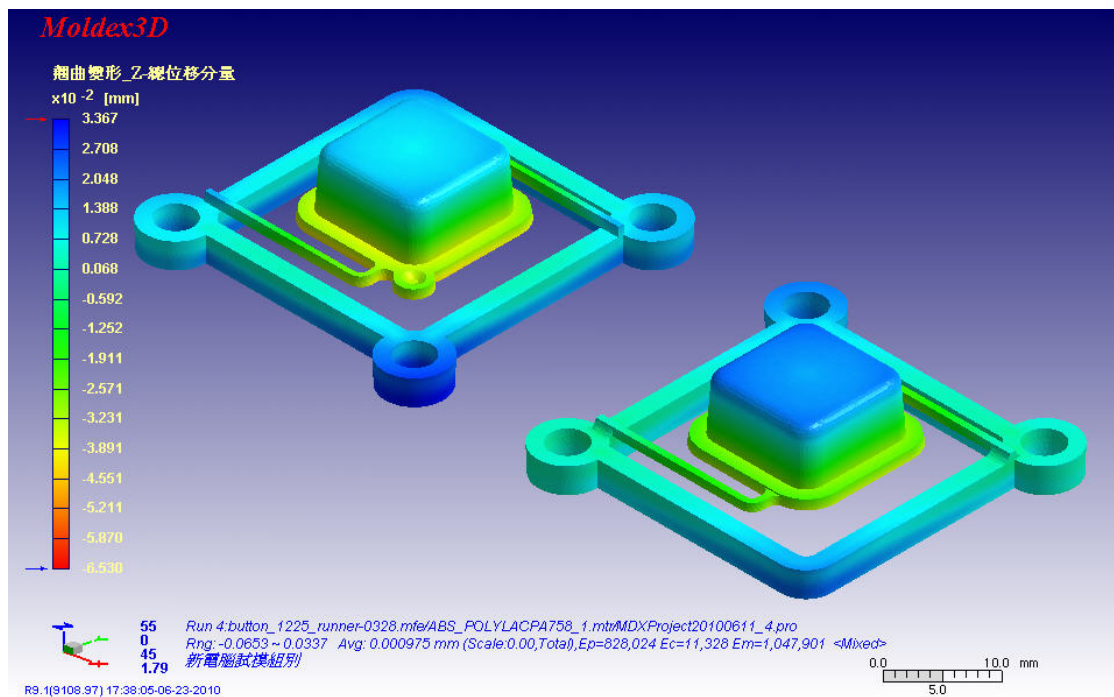


ABS 第 4 組參數翹曲分析結果

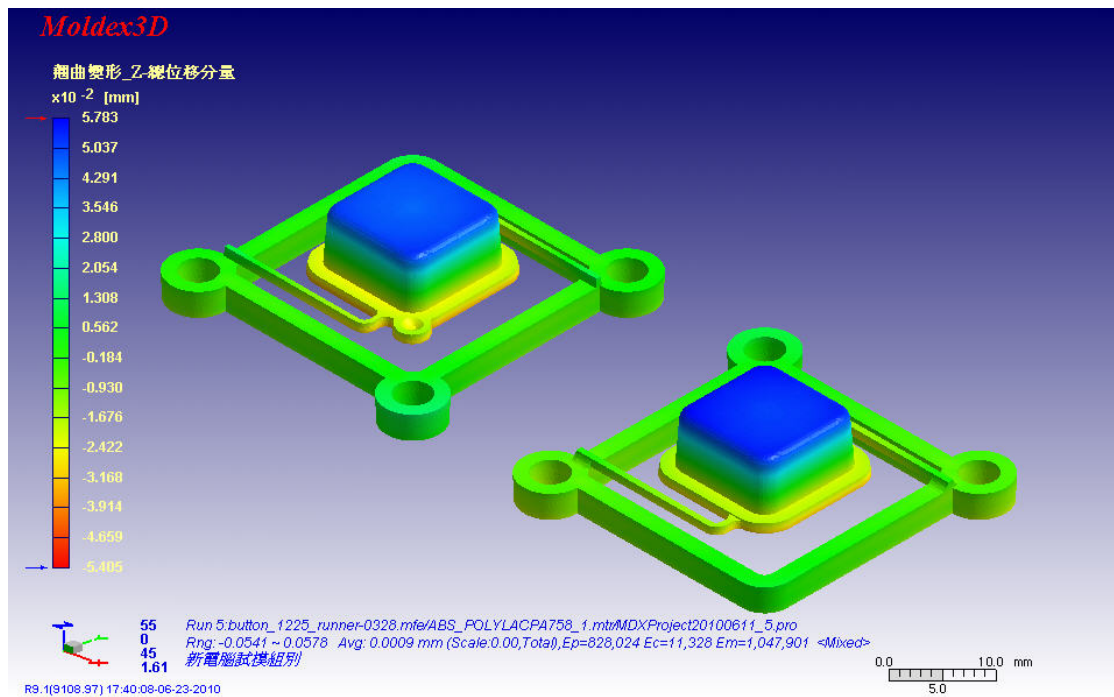




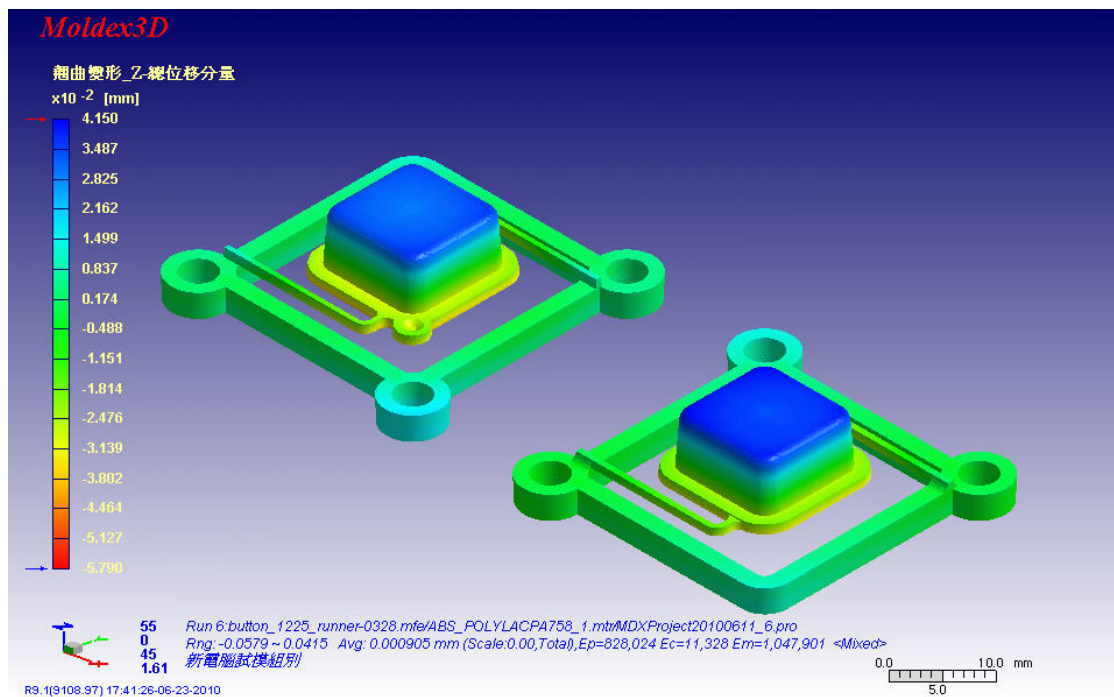
ABS 第 5 組參數翹曲分析結果



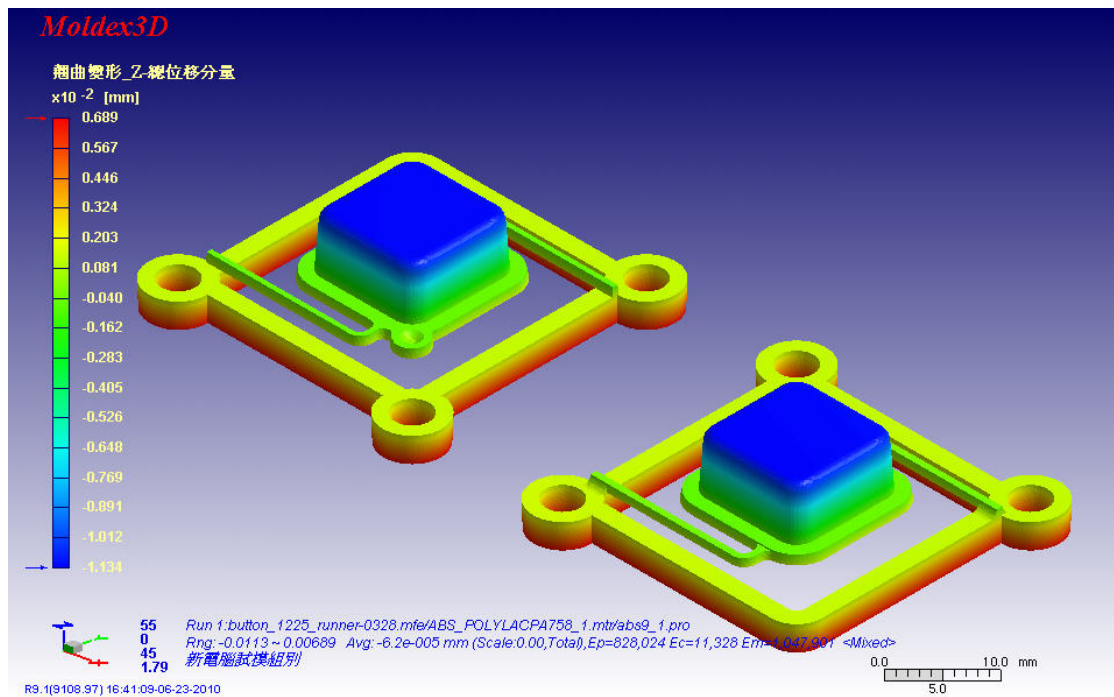
ABS 第 6 組參數翹曲分析結果



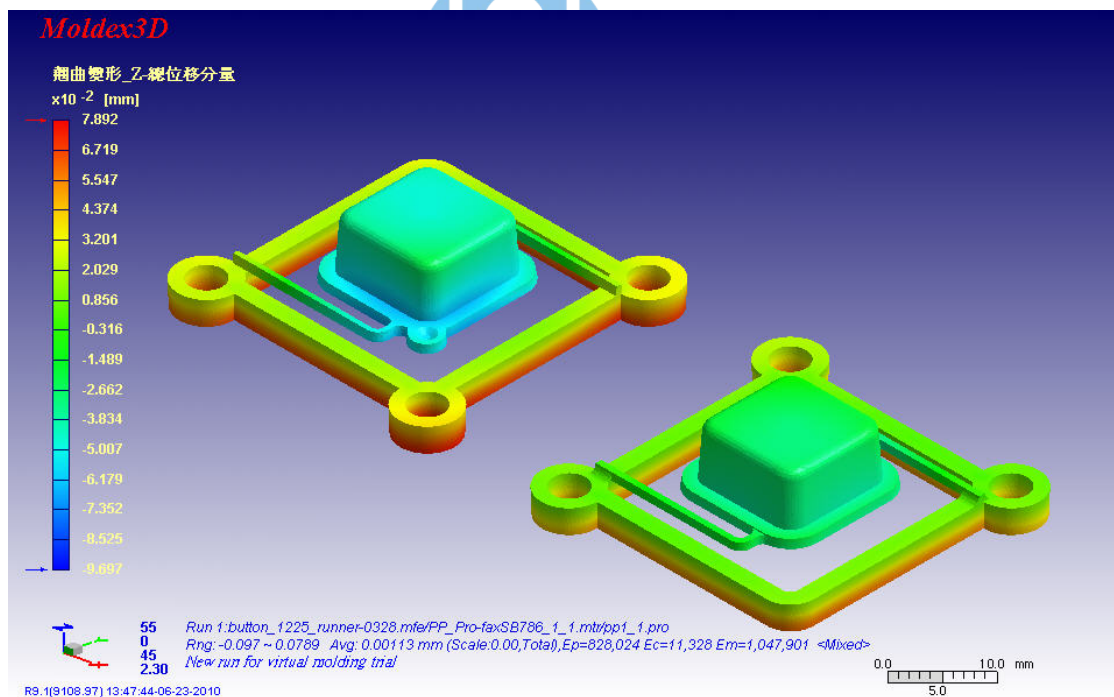
ABS 第 7 組參數翹曲分析結果



ABS 第 8 組參數翹曲分析結果

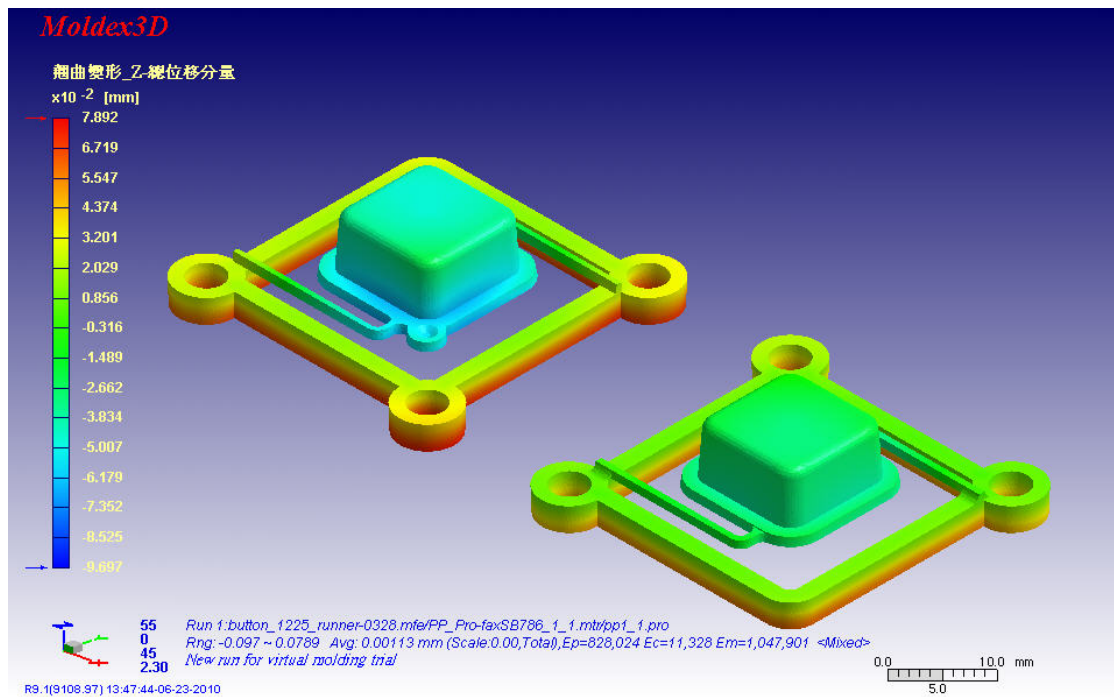


ABS 第 9 組參數翹曲分析結果

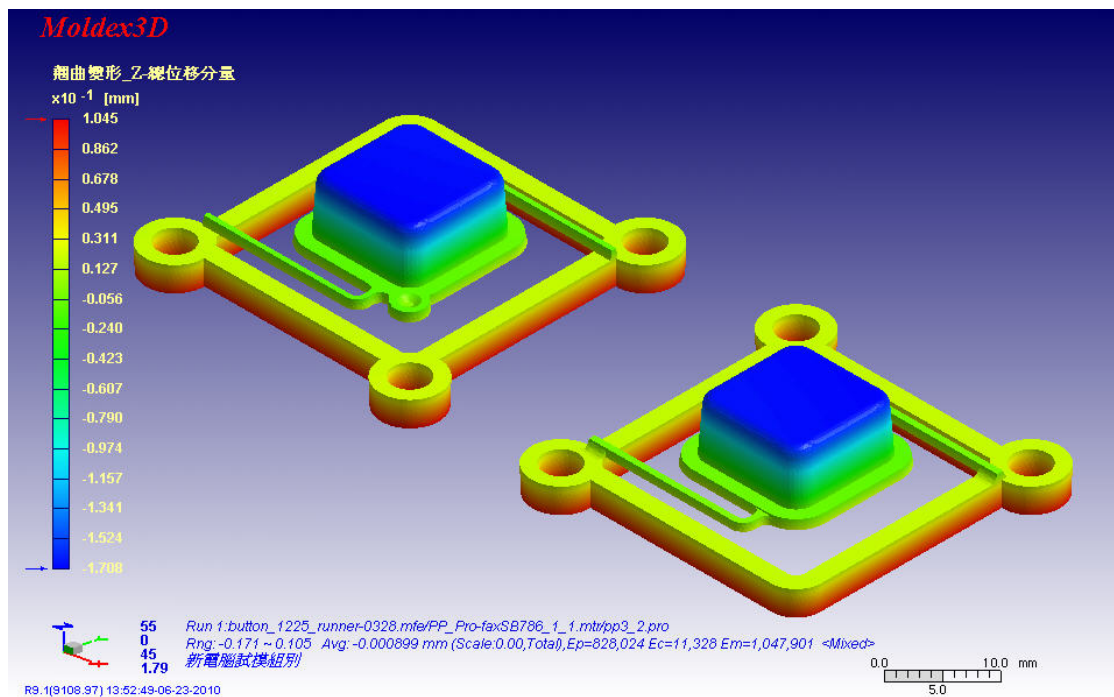


PP 第 1 組參數翹曲分析結果

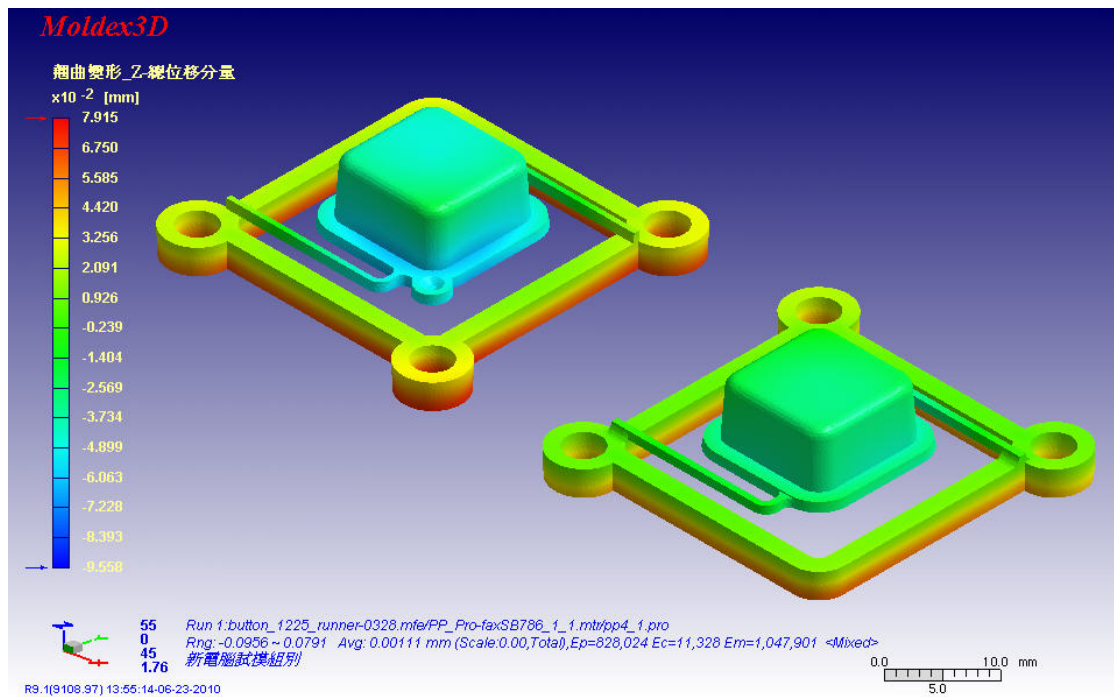




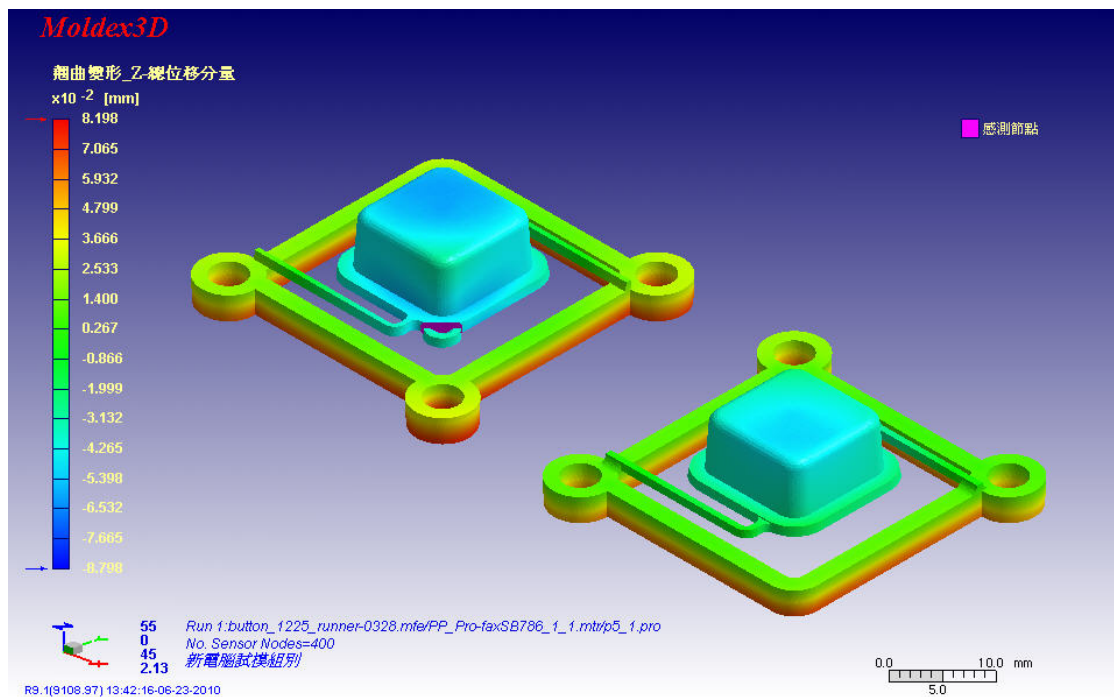
PP 第 2 組參數翹曲分析結果



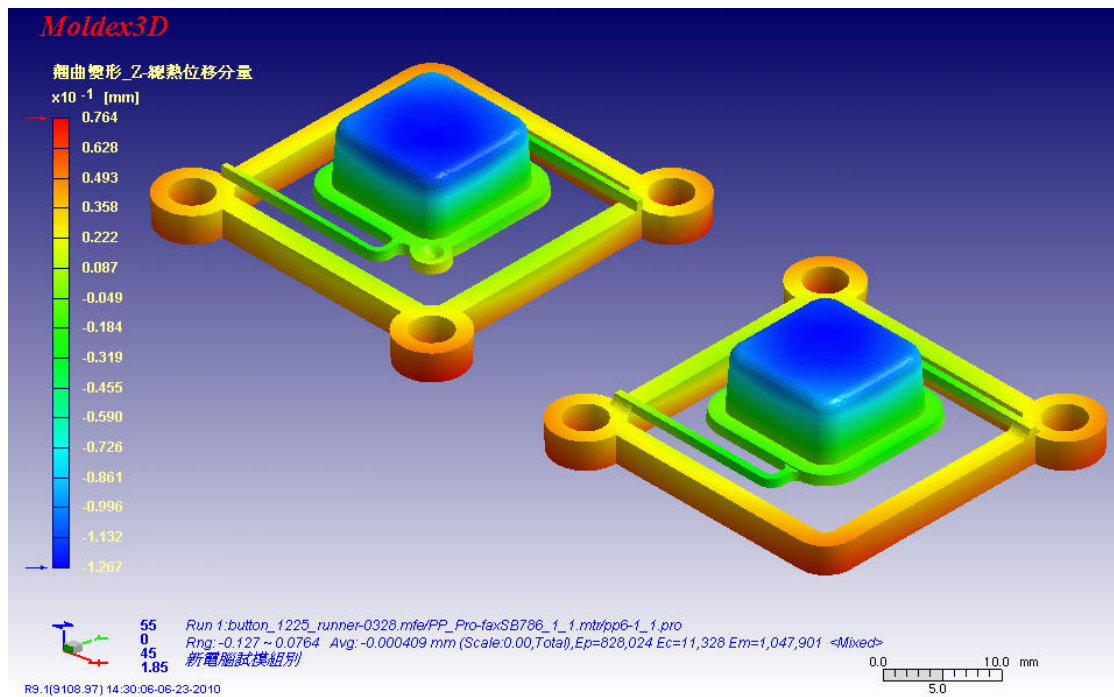
PP 第 3 組參數翹曲分析結果



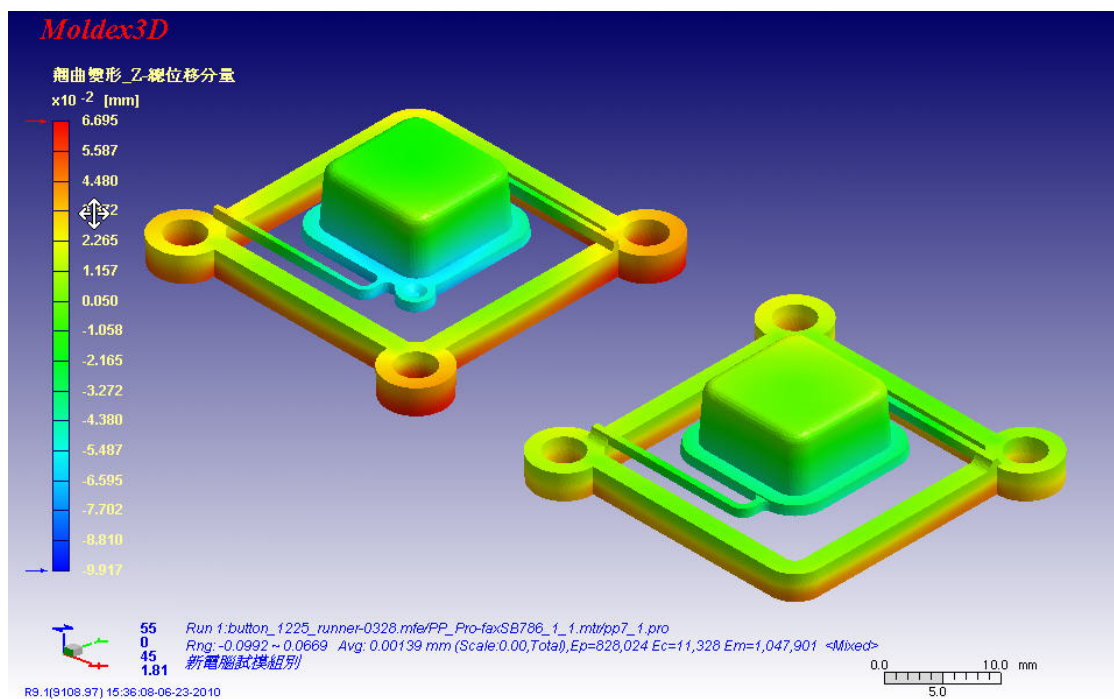
PP 第 4 組參數翹曲分析結果



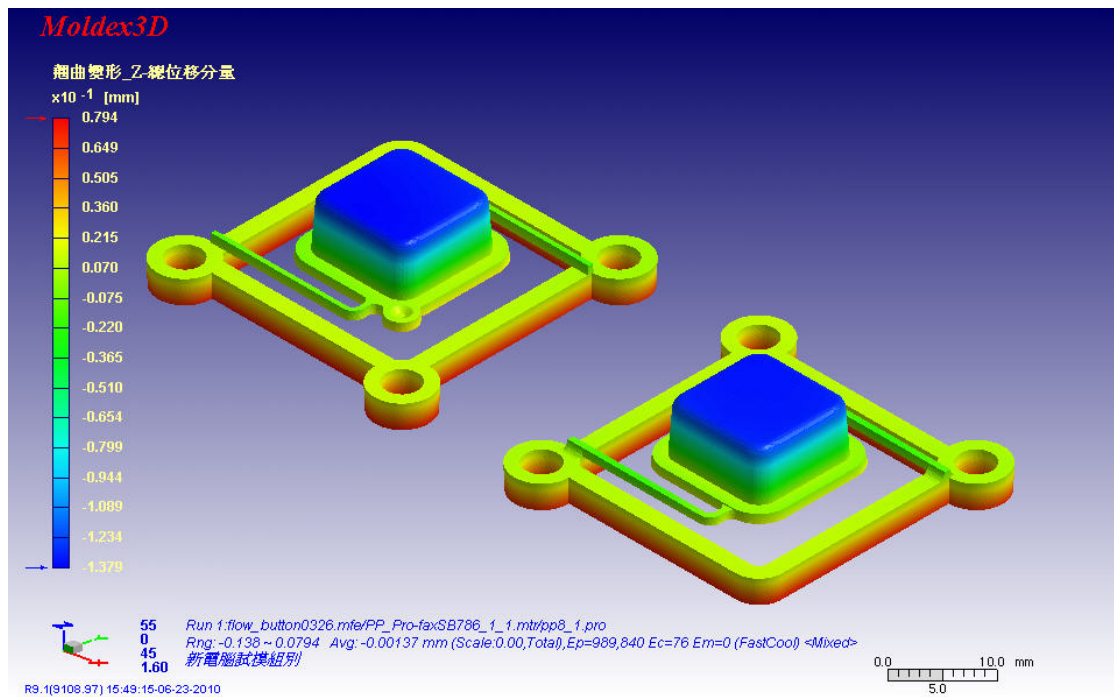
PP 第 5 組參數翹曲分析結果



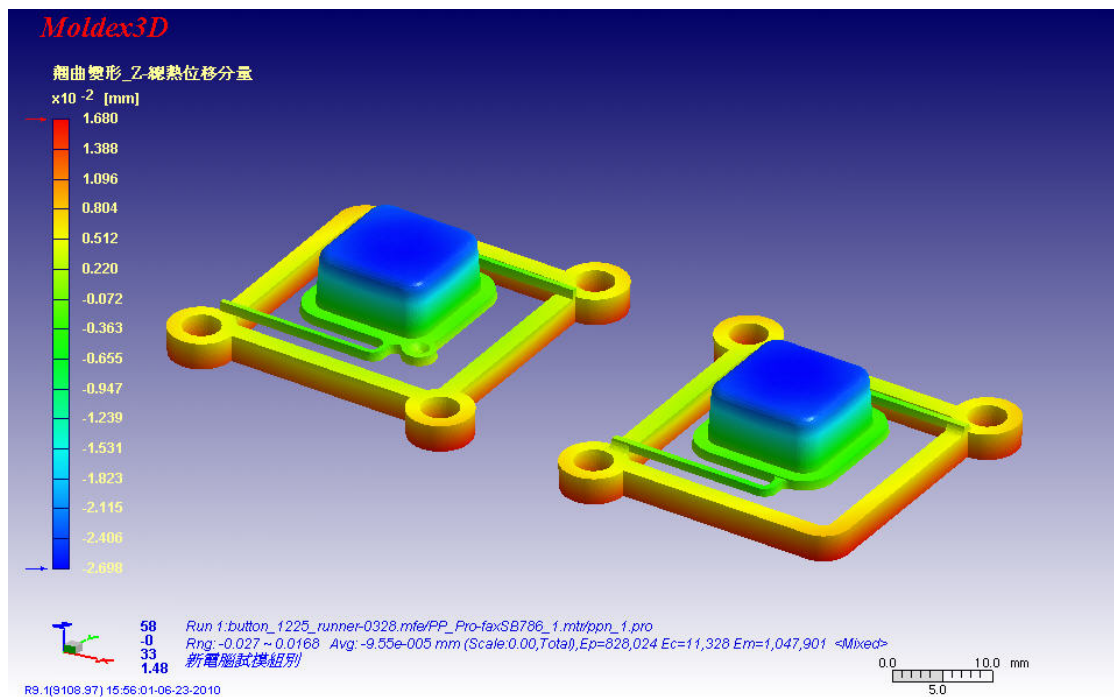
PP 第 6 組參數翹曲分析結果



PP 第 7 組參數翹曲分析結果



PP 第 8 組參數翹曲分析結果



PP 第 9 組參數翹曲分析結果

## 作者介紹

姓名：王晴遠

性別：男

出生：1971 年 08 月 24 日



求學經歷：

|          |         |          |
|----------|---------|----------|
| 國立台灣科技大學 | 機械工程研究所 | 畢業(99.7) |
|----------|---------|----------|

|        |       |          |
|--------|-------|----------|
| 國立高雄工專 | 模具工程系 | 畢業(82.7) |
|--------|-------|----------|

|          |     |          |
|----------|-----|----------|
| 台北市立松山工農 | 機械科 | 畢業(78.7) |
|----------|-----|----------|

現職工作：

|              |            |    |
|--------------|------------|----|
| 和碩聯合科技股份有限公司 | 第八事業處機構設計課 | 課長 |
|--------------|------------|----|

住址：220 台北縣板橋市三民路二段 35 巷 17 號 15 樓之 2

E-mail：[chriscyw88@yahoo.com.tw](mailto:chriscyw88@yahoo.com.tw)

[chris9\\_wang@pegatroncorp.com](mailto:chris9_wang@pegatroncorp.com)

行動電話：0933882099



# 國立臺灣科技大學博碩士論文授權書

(本授權書裝訂於紙本論文內)

本授權書所授權之論文為王晴遠〔M9503920〕在國立臺灣科技大學機械工程系 98 學年度第 2 學期取得碩士學位之論文。

論文題目： 高分子熔膠於彈臂搭接處之射出成形與分子配向性分析  
指導教授： 陳昭彰

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文〔含摘要〕，依下述授權範圍，以非專屬、無償授權本校圖書館及國家圖書館，不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟或其他數位化方式將上列論文重製典藏，並提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索書目、館內閱覽、或複印。

授權人 王晴遠

陳昭彰

簽章  
(請親筆正楷簽名)

王晴遠

陳昭彰

備註：

1. 授權人不因本授權而喪失上述著作之著作權。
2. 本授權書請授權人簽章後，裝訂於紙本論文內。

中 華 民 國

99 年 7 月 30 日