

國立交通大學

機械工程學系

博士論文

塑膠射出成型之結合線與殘留應力之改善研究



Improvements of Weld Lines and Residual Stress of
Plastic Injection Molding Parts

研究生：蔡毓斌

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國九十九年七月

塑膠射出成型之結合線與殘留應力之改善研究

Improvements of Weld Lines and Residual Stress
of Plastic Injection Molding Parts

研究生：蔡毓斌

Student : Yu-Pin Tsai

指導教授：徐瑞坤

Advisor : Ray-Quan Hsu



Submitted to Department of Mechanical Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Doctor of Engineering
in
Mechanical Engineering

July 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

塑膠射出成型之結合線與殘留應力之改善研究

研究生：蔡毓斌

指導教授：徐瑞坤教授

國立交通大學機械工程學系博士班

摘 要

塑膠射出成型是塑膠產品的量產方法之一。在產品的生產過程中，結合線與殘留應力兩大缺陷是最常見的問題。在結合線部分，本研究提出了四種模具機構（模內快速加熱/冷卻機構、模內旋轉機構、模內沖模機構，模具局部加熱機構），分別應用於傳統塑膠射出成型、添加金屬粉末塑料的射出成型，以及嵌入成型三種製程之結合線消除；在殘留應力部分，本研究以不同的熱處理參數對塑膠射出成型試片進行測試，再以光彈法量測不同的熱處理條件後的殘留應力大小。

實驗結果顯示，在傳統射出成型製程中，模內快速加熱冷卻機構可以大幅改善傳統射出成型製程之結合線缺陷，結合線部分的材料強度可提昇約 6.8%，結合線深度則可由 12 μm 降低至 0.5 μm 。在添加金屬粉末之塑料射出成型中，模內旋轉機構在低轉速下（25 rad/sec）可讓結合線模糊，但是無法完全消除，反之模內沖模機構則可製作出完全無結合線之產品。在嵌入成型部分，以實際產品（潛水用呼吸調節器與螺柱試片）進行測試，實驗結果顯示在局部加熱下，呼吸調節器的生產良率由原本的 30% 提昇至 100%，螺柱試片的螺柱強度也可提昇約 5%~20%。殘留應力實驗則顯示熱處理的確可降低射出成型件之殘留應力，對於肉厚在 2.5mm 以下之 PC 實驗試片，30 分鐘的熱處理時間已可減少 50% 以上之殘留應力。

關鍵字：塑膠射出成形、結合線、殘留應力、嵌入成形、熱處理

Improvements of Weld Lines and Residual Stress of Plastic Injection Molding Parts

Student : Yu-Pin Tsai

Advisor : Dr. Ray-Quen Hsu

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Plastic injection molding is one of the mass production methods of plastic products. In the production process, weld lines and residual stress are the most common defects of plastic products. In weld lines research, four mold mechanisms, (namely, rapid heating and cooling system, in-mold rotating system, in-mold punching system, and local heating system) were designed to eliminate the weld lines for traditional injection molding, plastics with metal powders injection molding and insert molding. In residual stress research, different heat treatment parameters were tested in plastic injection molding parts. In this respects, photoelastic method was to use measure the extent of the residual stress relief of the parts.

Experimental results showed that in traditional injection molding, rapid heating and cooling system can improve the weld lines defects, weld lines strength was raised for about 6.8%, the depth of the weld lines were reduced to 0.5 μ m from 12 μ m; in the injection molding of the plastic with metal powders, in-mold rotating system can blur the weld lines in low rotate speed (25 rad/sec) but can't completely eliminate the defects. However, in-mold punch system can produce the plastic parts with no weld lines in the same production process; in insert molding, two plastic parts (regulator for SCUBA diving and boss test parts) was tested, the experimental results showed that with the local heating system, the yield of the regulator was raised from 30% to 100%; the strength of the boss test parts raises from 5%~20%. In residual stress research, the experimental results showed that the heat treatment of the injected plastic parts reduce the residual stress. Polycarbonate test parts with thickness less than 2.5mm, heat treated for 30 minutes showed that a decrease of 50% of the residual stress can be achieved.

Keywords: plastic injection molding, weld lines, residual stress, insert molding, heat treatment

致 謝

在工作多年後再回學校念博士班，是人生的一個重大決定，很高興自己能夠完成當初設定的目標。

感謝恩師徐瑞坤教授，不但讓我在碩士班時建立了做研究的基本觀念，在回學校念博士班後，又引導我仔細思考論文中各項問題的發生原因與解決方案，讓我能夠順利完成博士學位，在此僅致上我最誠摯的感謝！

回學校的這幾年，論文的實驗部分在學弟的協助下能夠快速完成，在此特別感謝李艾聰、林俊銘、黃大益、徐啟峰、韋仁旌、胡偉強，梁達嵐與葉人瑜等幾位學弟在我就讀期間的協助，也希望李艾聰、葉人瑜與梁達嵐能夠順利的拿到你們的博士學位！

另外，感謝公司蘇總能夠讓我在工作的同時攻讀博士學位；感謝公司同事 Jane、Janet、Annie、Charlie、Richard 與 Terry 在工作上的幫忙，讓我在能夠在工作的同時掌握論文進度；感謝工作上的好友，Bruce、David、阿泉，Linus 與傅先生，你們的幫助，讓我大幅的減輕了實驗模具製作所需要的時間與成本壓力。

特別感謝海洋大學王榮昌教授，在我念博士班的過程中一路協助（從最初的數值模擬與實驗，一直到最後的論文投稿與口試），您的博士攻讀經驗讓我縮短了很多整理論文的時間與壓力，也讓我能夠在最後階段鞭策自己完成論文。

念博士的這幾年，歷經了工作更動、女兒出生、海外派駐等，家人的支持讓我能夠無後顧之憂的把論文完成，感謝妻子的諒解，也感謝女兒的笑臉，讓我每天有全新的動力要求自己將論文完成。

最後，感謝父母親對我的關心，讓我能夠堅持到最後一刻。沒有你們的支持，這個學位對我來說是沒有意義的，謝謝你們能夠一直看重我。

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
致謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	viii
符號說明	.....	xii
第一章	序論	1
1.1	研究背景.....	1
1.2	研究動機.....	1
1.3	研究目標.....	2
1.4	研究方法.....	3
第二章	文獻回顧	7
2.1	結合線.....	7
2.2	結合線的形成與影響.....	7
2.3	結合線的消除方法.....	10
2.4	殘留應力.....	13
2.5	殘留應力的分類.....	14
2.6	減少殘留應力的方法.....	15
第三章	模具機構改善方案	23
3.1	塑膠射出成型模具機構簡介.....	23
3.2	模具機構改善方案一：均溫板加熱冷卻機構.....	25
3.2.1	均溫板原理.....	26
3.2.2	均溫板加熱冷卻機構實驗模具說明.....	27
3.3	模具機構改善方案二：模內旋轉機構.....	28
3.3.1	添加金屬粉末塑料射出成型應用.....	28
3.3.2	模內旋轉機構動作原理說明.....	30
3.3.3	模內旋轉機構實驗模具說明.....	31
3.4	模具機構改善方案三：模內沖模機構.....	32
3.4.1	模內沖模成形原理.....	32
3.4.2	模內沖模機構實驗模具說明.....	33
3.5	模具機構改善方案四：局部加熱機構.....	34
3.5.1	嵌入成形製程簡介.....	34
3.5.2	嵌入成形製程常見的問題.....	35
3.5.3	局部加熱機構原理說明.....	37
3.5.4	局部加熱機構實驗模具說明.....	38

3.6	殘留應力改善方案：利用熱處理消除殘留應力.....	39
3.6.1	殘留應力的量測方法.....	39
3.6.2	光彈法量測應力的原理.....	40
3.6.3	剪應力差積分法.....	43
3.6.4	利用不同的熱處理條件消除殘留應力.....	44
第四章	數值模擬分析軟體.....	56
4.1	計算流體力學軟體 FLOW-3D 簡介.....	56
4.2	塑膠模流分析軟體 3D TIMON 簡介.....	58
4.3	模流分析.....	59
4.3.1	2.5D 充填分析.....	59
4.3.2	從 2.5D 充填分析轉換至 3D 充填分析.....	62
4.3.3	保壓分析.....	63
4.3.4	變形分析.....	64
4.3.5	轉換模組.....	65
4.3.6	嵌入成形模組.....	66
第五章	實驗結果討論與數值模擬之比較.....	67
5.1	應用平板式熱管加熱冷卻機構消除結合線.....	67
5.1.1	平板式熱管加熱機構的工作效率.....	67
5.1.2	平板式熱管加熱冷卻機構實驗結果檢討.....	68
5.1.3	結論.....	71
5.2	應用模內旋轉機構消除結合線.....	71
5.2.1	模內旋轉機構實驗結果檢討.....	72
5.2.2	旋轉機構數值模擬分析.....	73
5.2.3	結論.....	73
5.3	應用模內沖模機構消除結合線.....	74
5.3.1	沖模機構的剪斷效果.....	74
5.3.1	模內沖模機構實驗結果檢討.....	75
5.3.2	結論.....	75
5.4	應用局部加熱機構消除結合線.....	76
5.4.1	呼吸調節器及現有問題說明.....	76
5.4.2	實驗步驟.....	77
5.4.3	呼吸調節器實驗結果檢討.....	79
5.4.4	螺柱試片及現有問題說明.....	80
5.4.5	螺柱試片實驗結果檢討.....	82
5.4.6	實驗結果檢討.....	82
5.4.7	結論.....	84
5.5	應用熱處理消除殘留應力.....	84
5.5.1	實驗步驟.....	84

5.5.2	熱處理實驗結果檢討.....	86
5.5.3	結論.....	87
第六章	結論與建議.....	139
6.1	結論.....	139
6.2	未來展望.....	141
6.3	本研究達成之目標.....	142
參考文獻	.....	144



表 目 錄

表 3.1	材料貼合性.....	45
表 5.1	拉伸試片成形條件.....	89
表 5.2	多圓孔試片成形條件.....	89
表 5.3	模內旋轉模具成形條件.....	90
表 5.4	剪斷試驗實驗條件.....	90
表 5.5	模內沖模成形條件.....	91
表 5.6	呼吸調節器成形條件.....	91
表 5.7	三種不同的嵌入件溫度測試後的良率比對.....	92
表 5.8	螺柱試片成形條件.....	92
表 5.9	扭力實驗結果（底板厚度 2.0mm）.....	93
表 5.10	扭力實驗結果（底板厚度 2.5mm）.....	95
表 5.11	殘留應力試片成形條件.....	97
表 5.12	殘留應力試片在加熱後的變形量量測.....	97



圖 目 錄

圖 1.1	塑膠射出成型常見缺陷.....	5
圖 1.2	研究流程圖.....	6
圖 2.1	塑膠產品上之結合線痕跡.....	18
圖 2.2	噴泉流 (fountain flow)	18
圖 2.3	V 形缺口的形成方式.....	19
圖 2.4	因為肉厚差異形成的結合線.....	19
圖 2.5	ECO-MAK [®] 系統示意圖.....	20
圖 2.6	排氣入子示意圖.....	20
圖 2.7	透氣鋼.....	21
圖 2.8	在充填及保壓階段的高分子配向造成的流動殘留應力...	21
圖 2.9	熱殘留應力的形成原因.....	22
圖 2.10	射出壓縮 (injection compression) 製程.....	22
圖 3.1	塑膠產品澆注系統.....	46
圖 3.2	中華民國新型專利 M295582 專利示意圖.....	46
圖 3.3	Celsia [®] 公司之均溫板(NanoSpreader™.....	47
圖 3.4	加熱槓桿示意圖.....	47
圖 3.5	成形過程與加熱機構的動作示意圖.....	48
圖 3.6	採用添加金屬粉末塑料成形的機車頭燈外殼件.....	48
圖 3.7	堆積在結合線上的金屬粉末.....	49
圖 3.8	塑膠皮層與凝固層間有明顯的分界線 (陰影區域)	49
圖 3.9	採用模具機構改善方案一製作的成形試片.....	50
圖 3.10	模內旋轉機構示意圖.....	50
圖 3.11	旋轉體造型.....	51
圖 3.12	熱塑性塑膠的剪斷面切口形狀.....	51
圖 3.13	常見之嵌入成形件.....	52
圖 3.14	Ray Ban [®] 太陽眼鏡鏡架 (金屬/TPE)	52
圖 3.15	Wafer 連接器.....	52
圖 3.16	螺栓嵌入成形.....	53
圖 3.17	Film insert molding 產品.....	53
圖 3.18	Overmolding 示意圖.....	53
圖 3.19	充填塑膠對嵌入件施加壓力造成嵌入件變形.....	54
圖 3.20	嵌入件與外側塑膠的材料不同造成組立件發生變形.....	54
圖 3.21	成形過程與局部加熱機構的動作示意圖.....	54
圖 3.22	M351142 專利示意圖.....	55
圖 3.23	剝層法應力計算示意圖.....	55
圖 5.1	實驗採用之均溫板其熱傳導係數與溫度之關係.....	98

圖 5.2	均溫板外觀以及安裝於模仁上的狀況.....	98
圖 5.3	加熱棒與溫控設備.....	99
圖 5.4	模仁上溫度量測點位置標示.....	99
圖 5.5	模仁材料在未使用均溫板時之各點溫度變化曲線.....	100
圖 5.6	模仁材料在使用均溫板時之各點溫度變化曲線.....	100
圖 5.7	ICEPACK 模擬結果 (左側：未安裝均熱板/右側：安裝均熱板)	101
圖 5.8	拉伸試驗片產品規格與模具圖.....	102
圖 5.9	拉伸試片成品.....	102
圖 5.10	拉伸試片之拉伸試驗力量-位移關係圖.....	103
圖 5.11	多圓孔試片規格及模具圖面.....	103
圖 5.12	多圓孔試片 (含流道)	104
圖 5.13	未加熱試片於結合線位置之 SEM 照片.....	104
圖 5.14	加熱試片於結合線位置之 SEM 照片.....	104
圖 5.15	模內旋轉實驗試片外型與旋轉體安裝位置.....	105
圖 5.16	模內旋轉實驗四種材料製作而成的實驗試片.....	105
圖 5.17	模內旋轉模具組立圖.....	107
圖 5.18	安裝於射出成形機上之模內旋轉模具.....	108
圖 5.19	不同旋轉體形狀所造成的凹槽.....	108
圖 5.20	旋轉系統低轉速(25 rad/sec)下各材料所形成的結合線...	109
圖 5.21	旋轉系統高轉速(75 rad/sec)下各材料所形成的結合線...	109
圖 5.22	利用 Table Curve3D 之 curve fitting 功能取得的黏度模型.....	110
圖 5.23	以 FLOW-3D 模擬 Type3 旋轉體的運動對塑膠充填的影響.....	110
圖 5.24	沖模機構實驗設備.....	111
圖 5.25	沖模模具 (已安裝加熱棒)	111
圖 5.26	ABS 在不同剪斷加工條件下的剪斷面 SEM 圖.....	112
圖 5.27	沖頭與孔洞的直徑尺寸差圖 (材料為 ABS)	112
圖 5.28	模內沖模機構動作原理.....	113
圖 5.29	模內沖模試片外型及尺寸規格.....	113
圖 5.30	剪斷實驗 ABS 截面 SEM 圖.....	114
圖 5.31	開放式呼吸調節器元件示意圖.....	114
圖 5.32	二級調節器立體及三視圖.....	115
圖 5.33	以扭力扳手對調節器的螺拴施力.....	115
圖 5.34	嵌入件安裝位置發生製品破裂問題.....	116
圖 5.35	3D TIMON 呼吸調節器分析網格圖檔.....	116
圖 5.36	呼吸調節器之結合線形成模擬.....	117

圖 5.37	呼吸調節器之成形機台.....	118
圖 5.38	呼吸調節器模具.....	118
圖 5.39	準備安裝至呼吸調節器模具上的嵌入件.....	119
圖 5.40	呼吸調節器成形品.....	119
圖 5.41	螺柱試片背面的縮水現象.....	120
圖 5.42	修改後的螺柱造型.....	120
圖 5.43	螺柱試片 3D 圖檔.....	121
圖 5.44	螺柱形式 (TypeA, TypeB, TypeC)	121
圖 5.45	TypeA 螺柱破壞方式.....	123
圖 5.46	TypeB 螺柱破壞方式.....	123
圖 5.47	螺柱試片底部與肋相接處產生結合線之模擬.....	124
圖 5.48	螺柱試片模具組立圖.....	125
圖 5.49	螺柱試片模具圖.....	126
圖 5.50	螺柱試片模具圖 (公模側與母模側)	126
圖 5.51	螺柱試片模具圖 (操作側與反操作側)	126
圖 5.52	測試用機台 (CLF-250T / 全立發 250 噸射出成型機) ..	127
圖 5.53	螺柱試片.....	127
圖 5.54	扭矩實驗之扭力扳手.....	128
圖 5.55	螺柱試片固定方式.....	128
圖 5.56	TypeA 螺柱破壞之扭矩大小.....	129
圖 5.57	TypeB 螺柱破壞之扭矩大小.....	130
圖 5.58	2.0mm 底板螺柱破壞之扭矩大小.....	131
圖 5.59	2.5mm 底板螺柱破壞之扭矩大小.....	131
圖 5.60	20mm 高螺柱破壞之扭矩大小.....	132
圖 5.61	30mm 高螺柱破壞之扭矩大小.....	132
圖 5.62	殘留應力實驗試片尺寸.....	133
圖 5.63	殘留應力實驗試片量測應力位置.....	133
圖 5.64	殘留應力試驗之實驗流程.....	134
圖 5.65	殘留應力實驗試片之翹曲變形量測位置.....	134
圖 5.66	PC 試片等效殘留應力大小(未熱處理 vs. 熱處理 17 分鐘)	135
圖 5.67	PC 試片等效殘留應力大小(未熱處理 vs. 熱處理 77 分鐘)	135
圖 5.68	PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 137 分鐘)	136
圖 5.69	PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 197 分鐘)	136

圖 5.70	PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 257 分鐘)	137
圖 5.71	PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 1440 分鐘)	137
圖 5.72	PC 試片等效應力降低百分比與熱處理時間關係圖.....	138
圖 5.73	PC 試片兩階段等效應力降低百分比比較圖.....	138

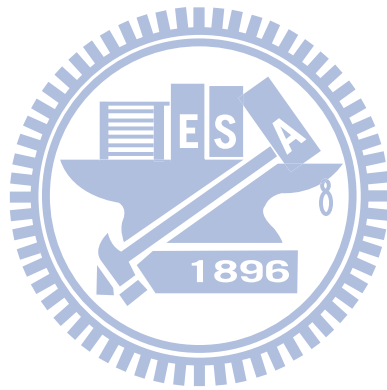


符 號 說 明

- C_f : 流導
 C_p : 流體比熱
 c : 相對應力光學係數
 e_{ij} : 由黏度場計算而得之流體應變率
 f_σ : 材料條紋常數
 $\{f_0\}$: 因為不平衡的熱量產生的應變造成的負載矩陣
 H : 殼元素厚度
 h : 試片厚度
 $\{K\}$: 剛度矩陣
 k : 熱傳導係數
 N : 條紋級數
 n 經驗曲線擬合常數
 n_0 : 未受應力下之折射率
 n_2 : 主應力軸 2 之折射率
 P : 流體壓力
 P_{11} : 應力光學係數
 P_{12} : 應力光學係數
 Q : 流率
 r : 樑元素半徑
 T : 流體溫度
 T_c : 臨界溫度
 t : 時間
 $\{U\}$: 節點位移矩陣
 u : X 方向之流體速度向量
 V : 比容
 v : Y 方向之流體速度向量
 w : Z 方向之流體速度向量
 γ : 剪切率
 ε : 應變
 ε_0 : 保壓/冷卻分析後因為收縮而得到的應變值



θ : 等傾角
 λ_1 經驗曲線擬合常數
 μ : 流體黏度
 μ_0 : 分子黏度
 μ_∞ : 剪力無限大時之流體黏度
 ρ : 流體密度
 σ : 等效應力
 σ_x : X 方向應力
 σ_y : Y 方向應力
 τ : 流體承受之剪應力
 τ_{xy} : XY 方向剪應力



第一章 序論

1.1 研究背景

二十世紀三零年代初期，科學家開發了能夠取代金屬的熱塑性塑膠，從此之後塑膠產品的使用得到迅速發展；工程師與化學家研究了熱塑性塑膠，發現這些材料在擠出與造粒之後能夠被重新加熱、軟化，形成流體；如果在高壓下注入到模具內，就能夠製造出一種在物理性能，力學強度，化學及電學性質都相當優良的新產品，從此塑膠射出成型成為廣泛生產塑膠產品的方法之一。

塑膠射出成型製程具有生產快速與自動化的優勢，是目前被廣泛應用的塑膠製品製造方式之一。但是在產品外形、模具設計、機台結構上的先天限制下，成形品可能會有包風(捲氣)、毛邊(溢料)、外觀平整度不高(縮水)、充填不足(短射)、結合線以及應力殘留所造成的翹曲、精度不良等問題(如圖1.1)。在這些問題中，結合線以及殘留應力是成形中最常見也是最難完全解決的缺陷。

結合線是設計人員最希望解決的外觀缺陷，因為結合線不但會影響產品的美觀，還會影響產品的強度。目前許多 3C 商品都採用塑膠材質作為外殼件(因為重量輕，而且生產成本比金屬低)，這些商品的外觀是吸引消費者購買的重要關鍵；一旦表面存在結合線，就會影響外觀的質感。因

此目前業界僅能利用噴漆(烤漆)、電鍍、薄膜嵌入成形(film insert molding)等製程來改善外觀；而這些二次加工製程不但會拉高製造成本，還會造成後續產品的環保回收問題，這些問題使得結合線這項外觀缺陷變成產品開發人員必須重視的課題。

殘留應力則是另一個困擾設計人員的問題。由於塑料在成形過程中經過高速充填、固化等流程，塑件會有殘留應力存在。殘留應力一旦釋放，產品就會發生變形；即使在設計時以額外的肋或螺柱設計提高產品的強度，避免產品發生變形，塑件仍然可能在後續的工作環境中因為殘留應力的慢慢釋放而發生二次變形；如何在成形後解決殘留應力的釋放，也是產品開發人員必須考量的問題。



1.2 研究動機

由於塑膠成形過程中，模具機構是影響成形的重要關鍵，因此本研究希望從模具機構的改良設計，提出在不同製程下的結合線缺陷改善方案，希望能夠徹底解決結合線缺陷；另外，業界習慣以二次加工方式（例如塑件熱處理）以解決殘留應力問題，本研究希望找出更適合解決殘留應力的熱處理參數，讓成形工程師能夠掌握熱處理參數的調整與控制。

1.3 研究目標

本研究分為兩部分：分別是結合線的問題改善，與殘留應力的問題改

善。

針對結合線部分，研究中將先探討結合線的形成原因，並且對目前對改善結合線的相關模具機構研究進行討論，在確認目前這些改善方法的使用限制後，根據需求提出數種模具改善機構；然後製作模具，以實驗驗證這些模具機構的可行性，最後再應用在實際的產品開發上。

針對殘留應力部分，研究中將先探討殘留應力的形成原因，再以熱處理方法針對指定材料進行測試，以掌握不同的熱處理參數對於殘留應力的改善效果。

1.4 研究方法

本研究所採用的問題分析、模具設計與製作、實驗驗證等流程，如圖

1.2，概述如下：

1. 文獻回顧

針對現行塑膠射出成型的問題進行分類及討論，再根據目前已經提出的改善方法中，提出新模具機構開發的必要性。

2. 模具改良機構方案

本研究將根據文獻回顧的資料，提出數種可行的模具改良機構方案設計，並且以實驗模具進行驗證，以確認這些方案是否切實可行。

3. 實驗與模流分析驗證



本研究將針對前述提出的模具改良機構，製作模具並且以實驗加以驗證；另外，本研究還會以搭配數值模擬軟體（包含了計算流體力學軟體與塑膠模流分析軟體）進行實驗研究結果的數值模擬比對，希望能夠整理出更完整的數據以供參考。





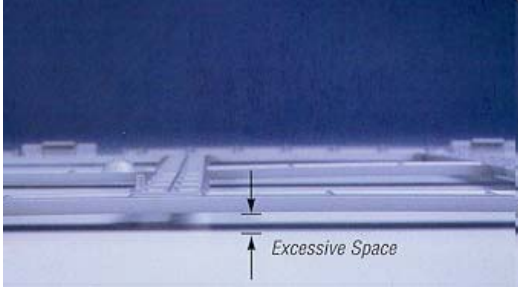
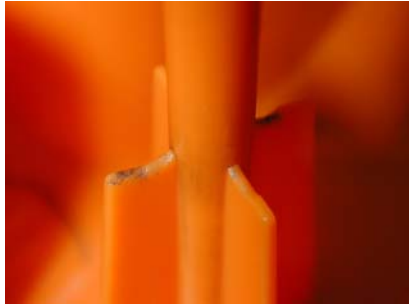




	
(a) weld line	(e) flash
	
(b) warp	(f) burn mark
	
(c) air trap	(g) sink mark
	
(d) burn streak	(h) jetting

圖 1.1 塑膠射出成型常見缺陷

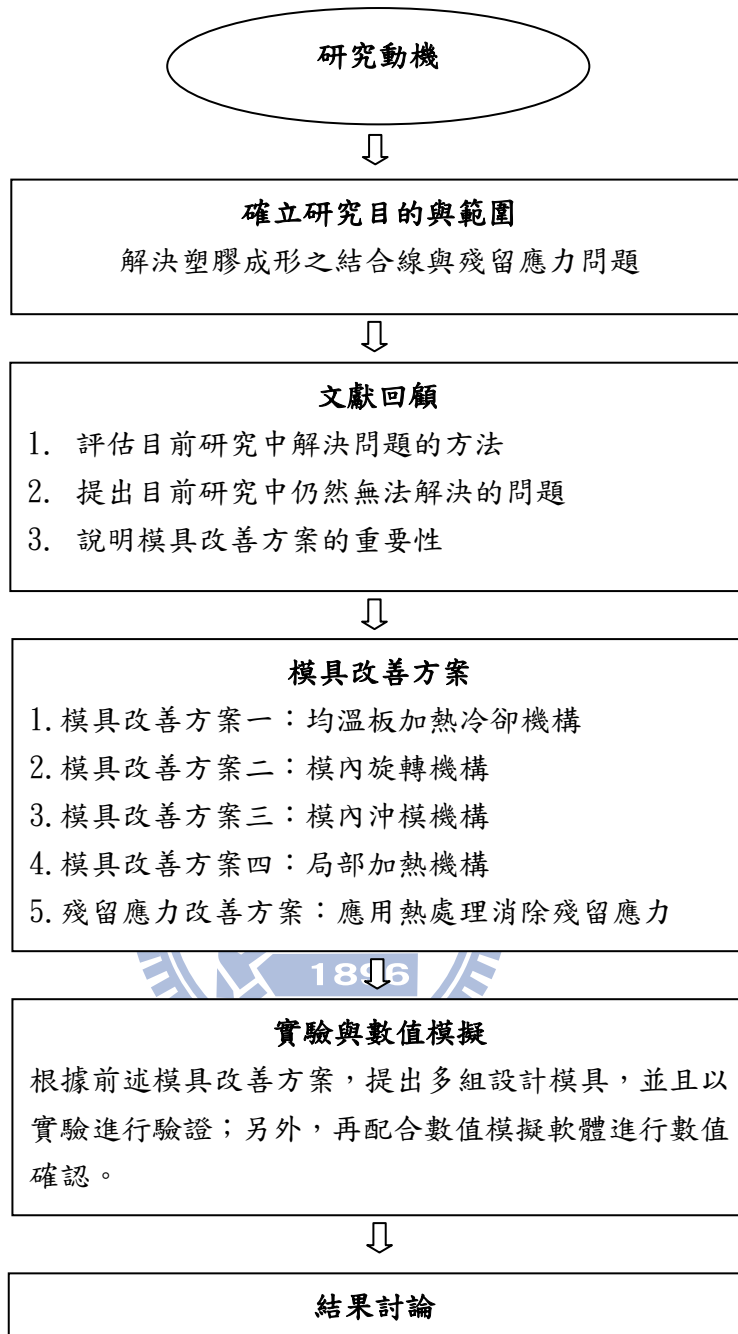


圖 1.2 研究流程圖

第二章、文獻回顧

本篇論文的文獻回顧資料將包含兩部分重點：結合線與殘留應力這兩大問題。

在結合線部分，將先針對結合線的形成原因進行探討與說明，再根據其形成原因，整理出以往研究中對於結合線問題的改善方案。由於這些改善方案在實際應用上仍然會有其限制，因此可以確認出新模具機構開發的必要性。

在殘留應力部分，則是先針對殘留應力的形成進行探討與說明，再檢討目前解決殘留應力的方法。由於目前研究中在參數設定上與目前業界常用的參數多有不同，因此評估以增加實驗參數的方式補全相關的研究數據。

2.1 結合線

結合線 (weld lines) 是塑膠射出成型製品最常見的外觀缺陷之一，如圖 2.1。結合線的位置，多半位於塑件上孔洞位置的後方。當塑膠繞過孔洞後，再度會合時，就會形成結合線。

2.2 結合線的形成與影響

結合線的形成與融熔塑膠的流動模式有關，融熔塑膠的充填模式一般稱為噴泉流 (fountain flow)，如圖 2.2。融熔塑膠在充填過程中，位於肉厚

中心的區域向前噴出，於前端形成弧狀向模壁延伸，接觸模壁的區域會因為溫度降低而發生固化。從肉厚的截面方向檢視，可分為緊貼模壁的固化層以及中心的融熔層。當塑膠流動時，融熔層與固化層的厚度會隨著塑膠流動波前（melt front）的前進而產生變化。固化層會隨著流動的路徑越遠而越來越厚；融熔層則是會越來越薄。當塑膠在模穴內前進時，會將原本存在於模穴內的空氣或揮發性物質（如離型劑）向前推動。當模穴內有兩股或兩股以上的塑膠接觸時，流動前緣會合的地方會形成如圖 2.3 的 V 形缺口。如果模具在 V 形缺口的位置沒有適當的排氣機構，該區域的空氣會阻止塑膠繼續充填，在該區域則會形成一 V 形的空孔形狀。V 型缺口的大小由融熔塑膠會合時之溫度及壓力而決定。從成品的表面上觀察，缺口的位位置就是結合線[1][2]。

在以往的文獻研究中，歸納了結合線的形成方式如下：

1. 成品上有兩個或兩個以上的澆口（gate），每增加一個澆口，最少會增加一條結合線。
2. 產品上有不同的厚度變化，塑膠流動時會因為跑道效應（race tracking）而產生結合線。跑道效應的形成如圖 2.4 所示。
3. 模具本體的溫度分佈不均，使得產品在局部區域提早固化；不同速度固化的區域在交會處會形成結合線。
4. 模穴內有入子（insert）或是頂針（ejector pin），塑膠在繞過障礙再次會

合時會形成結合線。

5. 產品的外型存在孔洞，當塑膠繞過孔洞再次會合時，也會形成結合線。

位於主要外觀面上的結合線，一般會被判定為外觀缺陷。然而，結合線對塑膠產品的影響不僅是外觀問題，還有強度問題。

以往的研究中，Chung 等人 [3]利用微硬度量測的方式，對圓孔後方結合線的強度進行量測，確認了圓孔後方結合線的強度會與塑膠會合時的擴散度有關；Dairanieh 等人[4]利用商用模流分析軟體 moldflow 預測結合線發生的地方，並且計算結合線區域之材料強度；Hashemi [5]則是討論溫度對於添加 short glass fibre 以及 glass bead filled ABS 聚合物結合線強度的影響，當材料溫度越低時，添加物對於結合線強度的影響也越大；Mekhilef 等人[6]則是確認了結合線的強度與融熔塑膠接觸時之兩個流動波前的接觸面積大小有相關；Merah 等人[7]的研究則是討論 CPVC 在環境溫度-10°C~70°C的過程中，結合線強度的變化，其結果也確認了結合線的存在會降低材料的拉伸應力，溫度越低時效應越明顯；Guo 等人 [8]的研究中，則以 melt diffusion 與 Flory-Huggins free energy 理論，預測結合線的強度，得到的結論為在不同溫度以及比例（PS/PMMA）下形成的結合線，在溫度越高的情況下，其結合線強度會越高。而結合線區域發生的變形，多半不屬於塑性變形。Seldén[9]則是針對五種不同的塑料，進行各種的成形參數調整，再量測結合線的強度，實驗證明成形參數（融膠成形溫度、保壓壓力，

以及模具溫度)的確會影響結合線強度。

2.3 結合線的消除方法

從前述討論已知，結合線是因為模穴內的空氣在融熔塑膠會合時沒有完全排出，在模壁側形成的V形缺口所形成的外觀缺陷。要消除結合線，就必須讓模穴內的空氣完全排出，塑膠才能將模穴完全填滿。以往的研究中，可以將消除結合線的方式歸納為三大類：提高材料溫度、加強排氣，以及提高模具溫度等三種。

1. 增加材料溫度：

讓融熔塑膠的成形溫度升高，降低融熔塑膠進入模穴的黏度，讓塑膠更容易填滿模穴，這是現場操作人員最常用的方式。但是這種方法有其限制，過高的成形溫度會讓塑膠發生劣化（塑膠分子鍊發生斷裂），成形時可能會發生如圖1.1(d)（焦痕，burn marks）的表面缺陷；另外，如果發生結合線的位置離澆口較遠時，當塑膠充填至結合線形成的位置時黏度可能已經降低，對結合線缺陷的改善有限。

2. 增加模具排氣：

如果在充填過程中，模穴的空氣能夠順利排出，結合線的痕跡自然也能夠消除。加強模具排氣有兩種方法，一種是主動式排氣，另一種則是被動式排氣[10]。

主動式排氣就是在模具機構上加裝設備，利用設備在成形之前將模具內的空氣強制排出，這種排氣方法多半應用於尺寸較小的射出成型件，因為傳統的排氣間隙對於低黏度的融熔塑料來說太大，可能會因為塑料進入排氣溝而造成阻塞。在 Asano 等人 [11] 的研究中，將料斗/料管/模具視為一個系統，並在此系統內安裝多個真空閥以及真空幫浦（該系統稱之為 ECO-MAK[®]），系統如圖 2.5 所示；再以 ABS、PS 等多種塑料進行測試；測試結果證明不但能夠減少成形過程中化學物質的排放，以及減少超過 95% 的塑膠懸浮微粒的產生外，還能夠改善塑膠成形件的拉伸應力。主動式排氣雖然能夠讓塑料完全充填模穴，但是其最大的限制，在於整個模具必須被完全封閉，才能夠有效的讓模穴形成真空狀態；由於模具內還有許多必須移動的模具零件（例如滑塊、斜銷，或頂針等），因此要完全封閉系統非常困難的。也因為如此，主動式排氣無法應用於各類型的塑膠產品生產上。

被動式排氣則是在結合線生成位置增加模具排氣機構（如排氣入子或頂針），塑膠在充填過程中推擠的氣體，可以由排氣入子或頂針與模穴之間的縫隙排出[9]（排氣入子如圖 2.6 所示）。Fellahi 等人[12]提出改變澆口位置與數目，或是在可能產生結合線的位置設置排氣機構，使空氣能夠藉由排氣機構釋出，避免結合線的產生。另外，還可以在模具的材料上進行調整，在需要排氣的區域採用透氣鋼（利用燒結製程完成的材料，如圖 2.7）製作

入子，以協助空氣排出。

被動式排氣在傳統成形上應用較廣，但是其最大的限制在於額外的排氣機構會增加額外的合模線痕跡，一旦產品的外觀要求較嚴格，或是塑膠材料為『透明材料』，這種方式就無法應用。

3. 增加模具溫度：

提高模具溫度，同樣能夠讓塑膠的黏度降低，在波前流動會合時減少 V 形缺口的深度。目前業界最常使用的方式，是更換模溫機之工作流體（例：以油取代水），以較高的模具溫度（超過100°C）完成成形製作。這種方式雖然簡單，但是一旦拉高模具溫度，成形時間也會隨之加長（因為冷卻時間也必須隨之增加）而難以控制。

Chen 等人[13]提出在模具上安裝感應線圈，以感應加熱（induction heating）的方式對模具進行局部加熱，達到快速加熱的效果。不過線圈的設計會受到產品造型以及機構的限制，在應用上必須考量到模具機構與線圈的干涉問題與造型問題； Yao 等人[14]則是在模穴上方鍍上一層銅及絕緣層來做模具的加熱、冷卻，利用加熱層的厚薄控制加熱速度。但是鍍膜層對於產品表面的光澤度會有影響，鍍膜的厚度在產品造型的限制下也不易控制，另外，鍍模後的模具表層在成形過程中可能會被塑料刮傷，反而影響模具壽命； Kim 等人 [15]則是在模具後方安裝瓦斯噴槍，在模具合模前以火焰加熱的方式對模仁進行快速加熱，再合模成形產品。但是火焰加熱

的加熱不易均勻，也不容易控制加熱的溫度。

目前在量產技術上，則以日本小野株式會社（Ono Sangyo Co., Ltd., Tokyo）[16]所提出之 RHCM（Rapid Heat Cycle Moulding）製程應用最廣。其加熱方式是在塑料充填階段以高溫高壓蒸汽取代原本用來進行模具冷卻的水，對模具進行快速加熱，模具溫度必須加熱到塑膠的玻璃轉換點溫度以上；充填結束時，在模具內以低溫流體進行快速冷卻。這種方法不但可以達到快速加熱，減少結合線缺陷的要求，還能夠在成形時間上進行控制，使得成形時間與傳統方式接近。RHCM 製程在目前的應用是最廣泛的一種，但是其設備的安裝及應用仍然會受到產品/模具尺寸大小的限制。

從前述研究中，可發現目前的模具加熱技術，都是針對『模具整體』進行加熱，事實上在商用模流分析軟體已經大幅應用的今日，預測結合線位置不再是一件困難的事情。模具加熱設備可以考慮以『局部加熱』取代『全部加熱』；另外，由於模具加熱機構的尺寸如果過大，會影響成形時模具的架設，甚至需要更大一級的射出成形機，因此模具加熱機構的尺寸必須受到限制（安裝前後不會影響模具大小）；另外，為了使用上的可靠度以及維修方便性，盡可能採用機構運動替代複雜的電控方式。

2.4 殘留應力

殘留應力是產品在成形過程中所產生，被『凍結』在產品內的應力。殘留應力如果超過產品原本的結構強度，產品可能在成形後立刻發生變形，

或者是在承受外部負荷後再發生破壞。

2.5 殘留應力的分類

根據 Isayev 與 Crouthamel [17]的研究，塑膠射出成型的殘留應力來自於兩個部分，分別是充填/保壓過程中因為塑膠流動產生的殘留應力，以及冷卻過程中因為熱而產生的殘留應力。

1. 因為流動而產生的殘留應力[18][19]

當塑料溫度超過材料融熔溫度時，塑膠的聚合物分子鏈是隨意捲曲的狀態。而當塑膠流動時，聚合物會被拉長或壓縮，並且延著流動方向產生配向。當塑膠的溫度低於玻璃轉換點時，聚合物分子鏈在未達到原本完全鬆弛的狀態就開始發生固化，那麼分子的配向就會被侷限在產品內。這種應力凍結的現象，就是因為流動而造成的殘留應力，這種殘留應力又稱為流動殘留應力（flow residual stress），如圖 2.8 所示。

2. 因為熱而產生的殘留應力[19][20][21]

因為熱而產生的殘留應力出現在塑膠的『冷卻』過程中，主要的原因來自於塑件從模壁到中心之間的冷卻速率的差異，以及壓力、塑料溫度、密度，以及黏度的變化。塑膠的冷卻過程，在肉厚方向是從靠近模壁的表層開始冷卻並收縮，靠近中心較熱的區域仍然是熔化狀態（甚至可以自由收縮）。當中心層也開始冷卻時，局部的熱收縮會因為表層已經固化而被限

制，進而產生應力。這種殘留應力又稱為熱殘留應力（thermal residual stress），如圖 2.9 所示。

2.6 減少殘留應力的方法

在塑膠射出成型的製程上，殘留應力一定會存在；只能夠減少殘留應力的量而已。目前業界使用減少殘留應力的方式，主要分為下列三種方法：

1. 調整充填（材料成形溫度、螺桿行程-速度、充填時間）/保壓（保壓時間與保壓壓力）/冷卻（冷卻時間）等成形條件。

調整成形條件雖然簡單，但是這些因素往往會互相干擾，成形業者反而不易找出正確的解決方法。例如：充填速度太慢，塑料與模壁之間的固化層成長速度會太快，塑件不易充填完成；但是太快的充填速度反而會提高剪切應力，造成過高的殘留應力。

2. 採用新型成形方式，如射出壓縮（injection-compression）製程，或是超高速射出成型（super high-speed injection molding / ultra-high speed injection molding process）製程。

射出壓縮製程[22]如圖 2.10 所示，在充填前，模具會略微開啟，當充填結束瞬間，模具會進行完全閉合，射出成型機再繼續進行保壓製程。在第一階段，略微開啟的模具等於是讓產品的厚度增加，塑料可以用較低的射速進行充填而不至於短射；第二階段模具完全閉合並且進行保

壓，則是由射出成型機對模具可動側施力，利用機台的鎖模力達到對模穴均勻施壓，這樣能夠減少保壓階段機台所需增加的保壓壓力。此種成型方式不但可以降低充填模穴所需之射出壓力，且由於均勻加壓使得整個成型製程可以在低壓的環境下完成而得到模穴內熔膠均勻的壓力分佈。與傳統的射出成型製程相比，射出壓縮成型能夠有效的降低射出壓力，減少殘留應力，均勻的保壓能夠減少產品的收縮，並且改善產品發生變形的狀況。不過由於第一階段的模具開啟動作，這種製程目前僅能應用於簡單造型的產品（例如光碟片或是光學鏡片）。

超高速射出成型[23]則是在充填階段以高速進行射出成型的一種方式。傳統的射出成型機，最高充填速度多在 180mm/sec ~ 200mm/sec；所謂的超高速成形，泛指充填速度在 600mm/sec（也有指定為 800mm/sec）以上的射出成型速度。在這麼高的射出成型速度下，塑料會因為充填過程中的黏滯熱而讓黏度再次降低，提高塑料的流動性，降低射出壓力。低黏度/高流速的充填方式能夠降低產品的殘留應力，但是這種成形方式受限於機台規格，目前僅能在特定尺寸以下的產品使用。

3. 利用二次加工，對塑件施加能量（熱能、機械能、光能，化學能等），讓塑膠產生應力鬆弛的效果，進而達到消除殘留應力的要求。

過去的研究中，大多以熱處理的方式進行殘留應力消除的研究。

Thompson 與 White[24]以射出成形方式製作 PS、PP、添加玻璃纖維之 PS，

以及添加玻璃纖維之 PP 的圓棒，再將圓棒進行冷熱循環測試，量測成形品在開模後以及冷熱循環測試後之殘留應力及變形量，確認產品表面會形成壓縮應力，中心則是形成拉伸應力；在冷熱循環過程中，高溫時中心的拉伸應力範圍會增加，增加量讓產品在低溫作用時減緩其變形量；Choi 與 Broutnan [25]則是採用 PE 材料，以 120°C 進行一小時的熱處理，結論顯示熱處理溫度之影響比熱處理時間更加敏感。Thakkar 與 Broutman [26]將冷作 PC 板 (cold worked polycarbonates) 進行不同溫度的熱處理 (25°C~125°C, 2 小時)，實驗證明在熱處理過後，拉伸應力可提昇，殘留應力可降低，而且降低幅度與加熱溫度有關；Wang 與 Zhang [27]針對鹼性蓄電池塑膠外殼常用的幾種材料 (ABS、MBS、AS、PA) 進行不同的熱處理條件測試，驗證了在不同的熱處理條件測試下，可消除產品的殘留應力。

在前述研究中，大部分的研究是以玻璃轉換點溫度或是熱變形溫度為基礎加以調整，熱處理時間大多在 2 小時內完成，對於長時間熱處理溫度對於殘留應力的影響並沒有做詳細的探討。本研究希望能夠進一步了解加熱溫度與加熱時間長短對於殘留應力的影響。

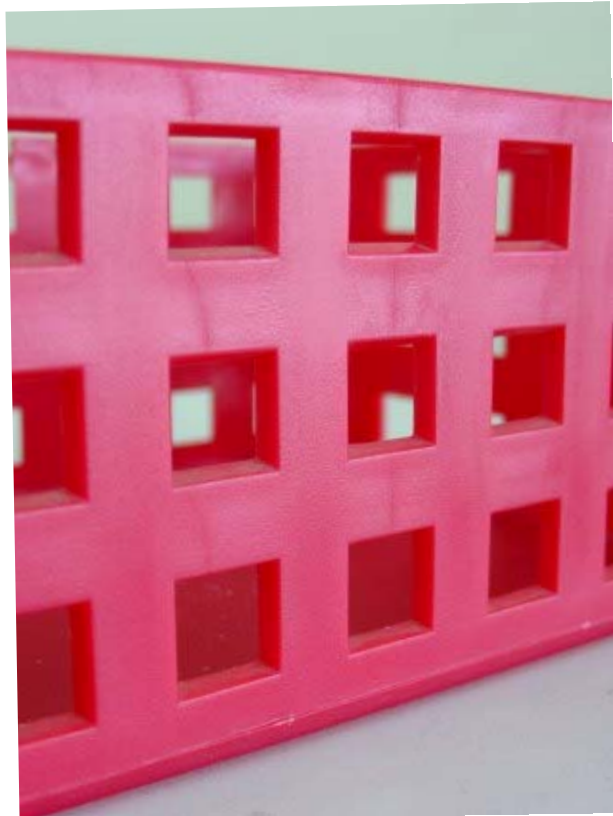


圖 2.1 塑膠產品上之結合線痕跡

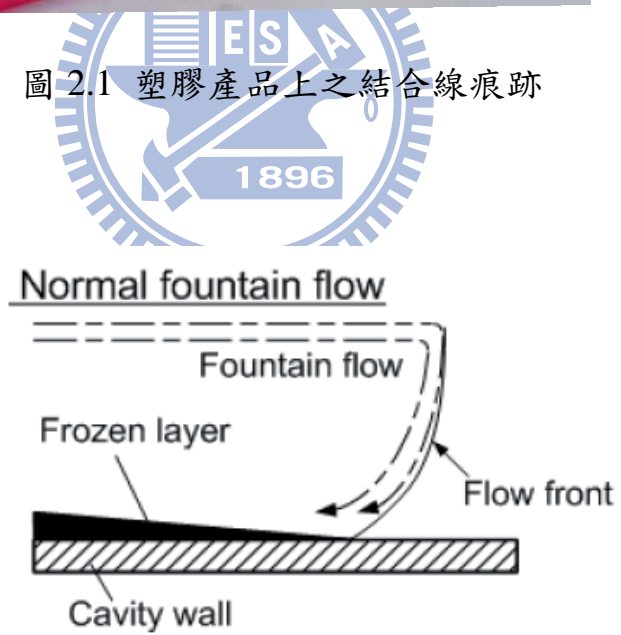


圖 2.2 噴泉流 (fountain flow) [2]

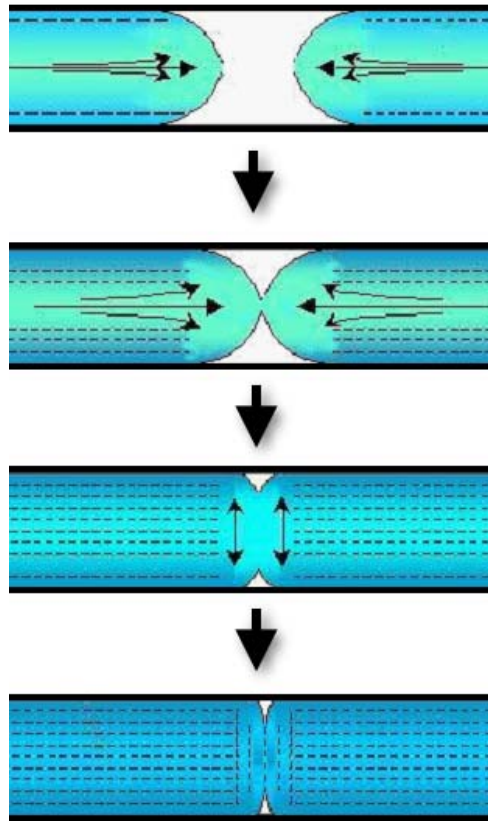


圖 2.3 V 形缺口的形成方式

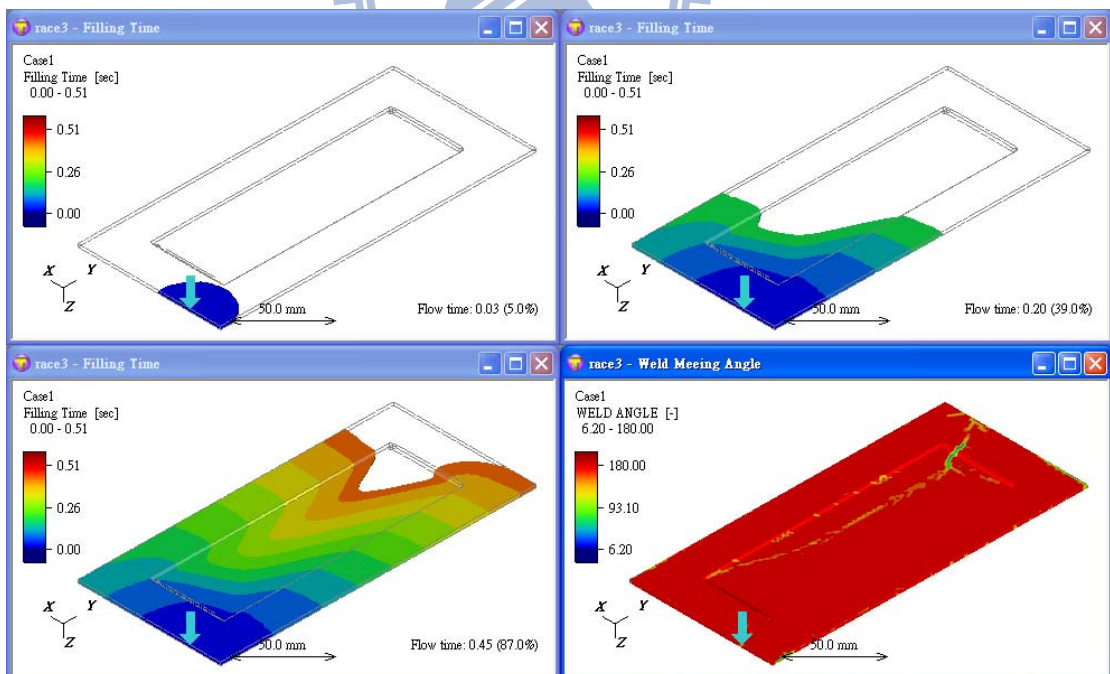


圖 2.4 因為肉厚差異形成的結合線（右下角圖檔為 weld angle 輸出，以塑料會合時之角度顯示結合線的形成；分析軟體為 3D TIMON）

未乾燥樹脂対応射出成形システム **ECOMAK** 構成図

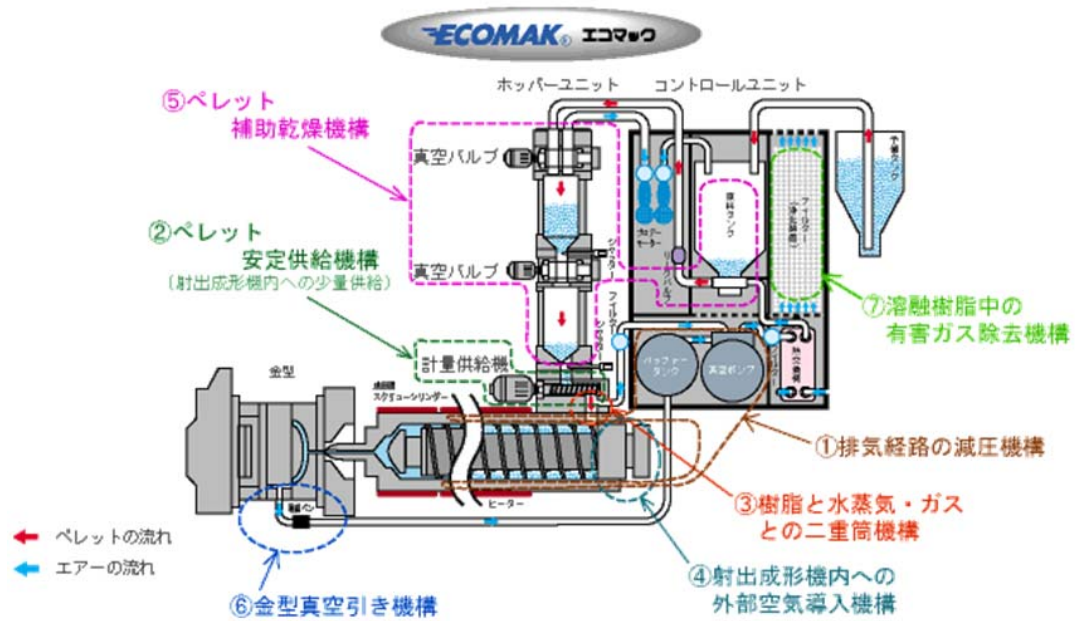


圖 2.5 ECO-MAK[®] 系統示意圖[28]

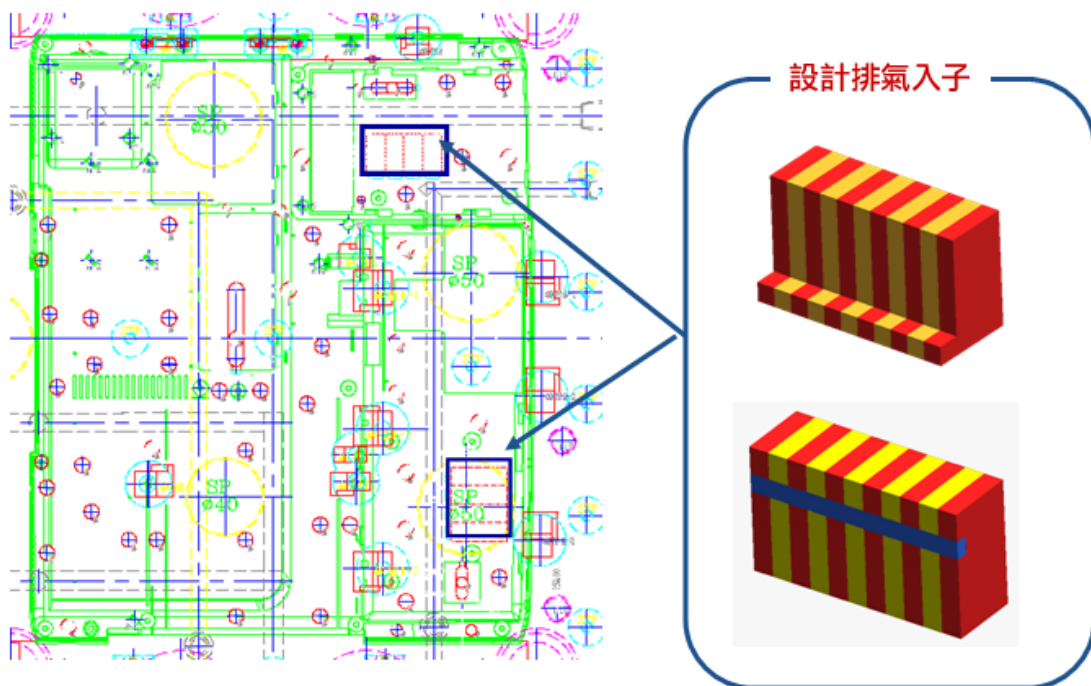


圖 2.6 排氣入子示意圖[29]

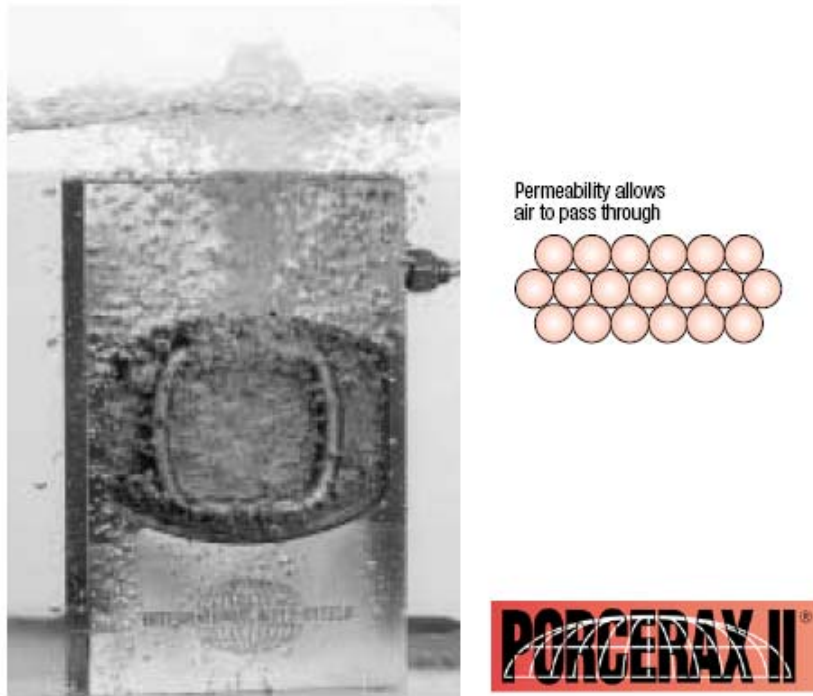


圖 2.7 透氣鋼[30]

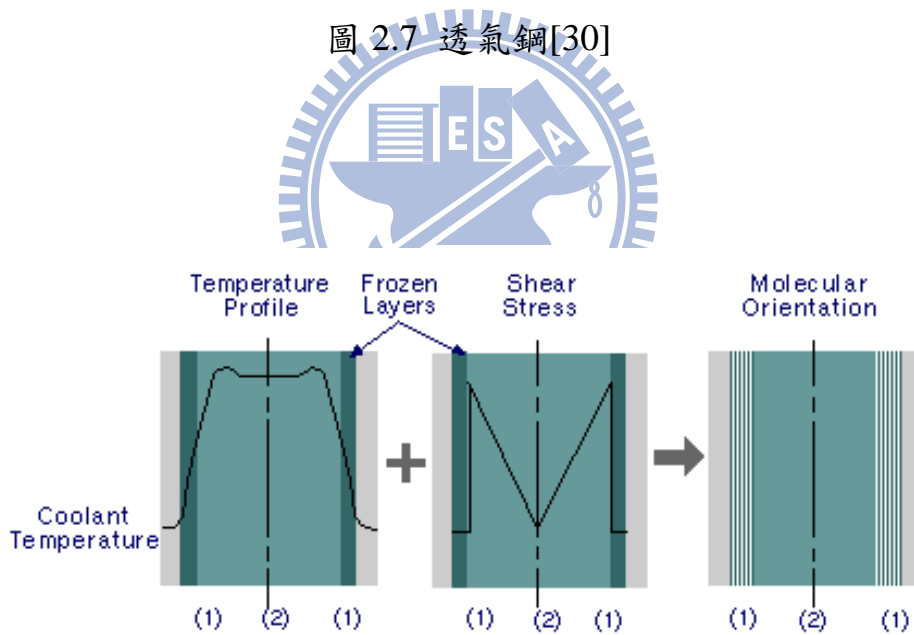


圖 2.8 在充填及保壓階段的高分子配向造成的流動殘留應力[2]

- (1) High cooling, shear, and orientation zone
- (2) Low cooling, shear, and orientation zone

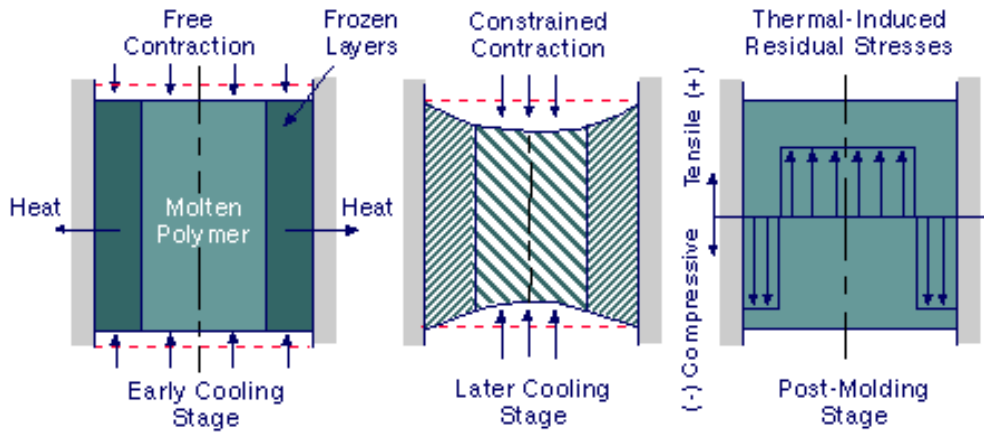


圖 2.9 熱殘留應力的形成原因[2]

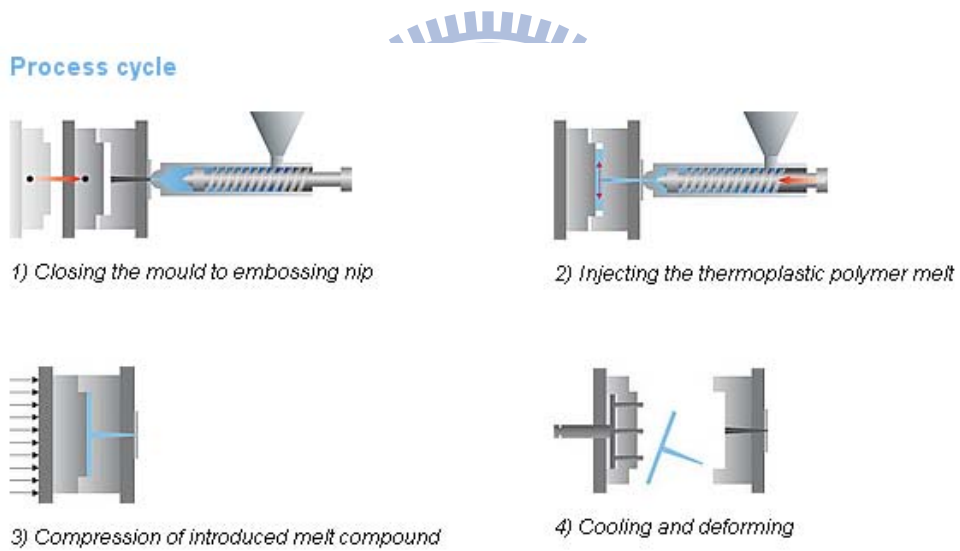


圖 2.10 射出壓縮（injection compression）製程[31]

第三章、模具機構改善方案

從文獻回顧中，可知目前用來解決結合線問題的研究中，還沒有一種模具機構能夠完全解決各種結合線缺陷；而且大部分的模具加熱系統，都是對『整體模具』進行加熱，導致成形時間與能源的耗損都會提昇。

事實上，目前商業模流分析軟體已經能夠準確的預測結合線的形成位置，模具改善機構可以做到『局部去除』的效果，不需要對整組模具進行製程調整。

殘留應力是另一個成形過程中困擾成形廠的問題。目前最常用來改善殘留應力的方法，是以熱處理的方式達到應力釋放的效果。本章節將提出一套完整的實驗方法，測試不同的熱處理條件對殘留應力的改善影響。

3.1 塑膠射出成型模具機構簡介

塑膠射出成型製程，是將塑料以高速射出成型的方式，將融熔塑料填入模具，當塑料在模具內完全填滿並且冷卻固化後，再進行開模頂出。模具設計與成形品的良率息息相關。

根據功能分類，可以簡單的將模具內的各項機構分為下列幾個部分，分別是澆注系統(filling system)、冷卻系統(cooling system)、頂出系統(eject system)、側向脫模系統(side parting system)，排氣系統(venting system)等[32][33]。

澆注系統包含豎澆道 (sprue)、流道 (runner)、澆口 (gate) 以及模穴 (cavity)，澆注系統的功能就是將融熔塑料，經過成形機的噴嘴 (nozzle)，在高溫、高壓，高速的狀態下，以適當的流量與流速進入模具的模穴 (如圖 3.1)。

冷卻系統則是包含所有的冷卻水路設計，包括一般常見的直通水管 (channel)、障板管 (baffle)，以及噴流管 (bubbler) 等。冷卻系統必須考慮水路之間的排列間距與水路的尺寸，因為冷卻系統設計的好壞會影響模具的冷卻效率，進而影響產品成形的週期時間。

頂出系統則是包含了頂針 (ejector)、套筒 (sleeve)，頂出塊 (ejector block) 等設計。成形產品在模具開啟後，必須藉由頂出系統將產品頂出模穴。頂出系統必須考量到產品在頂出過程中是否能夠均勻受力；另外，塑料在充填過程中必須將模穴內的空氣排出，一般而言會利用頂出系統的設計作為排氣位置的考量。

側向脫模系統則是包含了滑塊 (slider) 與斜銷 (lifter) 這兩種主要機構。大部分的產品在成形過程中，脫模方向會與模具的開啟方向相同；但是有些產品有造型或機構上的要求，產品取出時模具必須考慮其他的開啟方向，此時就需要滑塊與斜銷進行側向脫模。

排氣系統主要是排氣溝設計。排氣溝設計的重點在於讓空氣能夠以最小的阻力從模穴中排出；但是排氣溝又不能大到讓塑料進入排氣溝，形成

溢料。廣義來說，模具內的機構多少都兼具排氣的功能（只要機構設計時有與模具外側相接的空氣通道，就有排氣功能）。

設計人員在進行模具設計時遇到最大的問題，在於上面這些機構的考量往往會互相干涉。舉例而言，為了取得均勻冷卻，設計人員會希望公模（可動側）與母模（固定側）的冷卻水路採用相同的排列方式以取得均勻冷卻；但是實際的狀況卻是：母模側的冷卻水路必須考慮澆注系統的進澆位置而進行位置上的調整；而公模側的冷卻水路必須考慮頂針位置的干涉而重新調整排列方式。因此模具設計人員在進行模具設計時，必須考慮到這些機構的干涉問題以及影響，再進行相關的設計。

由於考量到機構之間可能會發生的干涉問題，後續提出的模具改善機構在設計時將考量下列兩個重點：

- 尺寸：機構的尺寸必須可以控制在模具本體內，安裝這些模具改善機構時不需要讓本體模具的尺寸大幅增加，這樣可以避免使用過大的射出成型機。
- 連動性：機構動作盡可能由模具的運作進行連動動作（減少額外的電控系統）。

3.2 模具機構改善方案一：均溫板加熱冷卻機構

在文獻回顧中，可以發現大部分提出的模具溫度調節方案都是針對『整

體模具』進行加熱/冷卻，沒有針對『局部加熱』這個功能進行檢討。由於在結合線問題的評估中，已經確認在結合線形成的位置做局部加熱，應該就可以解決結合線缺陷，不需要整個模具都加熱，因此本研究提出的改善機構，將把重點放在『局部加熱』上。

另外，考慮到新型的模具改善方案，必須考慮到模具機構的兩個基本要求（尺寸與運動性），為了解決這個問題，本研究中以 TRIZ 理論為基礎，設計出一套可以解決問題的模具機構方案，並且完成中華民國新型專利之申請[34]。根據專利圖樣（圖 3.2），本研究設計了一套實驗模具以進行實驗驗證。由於專利圖樣內採用均溫板（vapor chamber）進行平均與快速導熱，因此在實驗中會先以數值模擬與熱傳實驗驗證均溫板對於熱傳導速度的影響，再以射出成形製程製作實際產品以比對模具加熱冷卻機構對於塑膠射出成形結合線的影響。

3.2.1 均溫板原理

均溫板工作原理與傳統熱管相同[35]，包括了傳導、蒸發、對流、凝固等四個主要步驟。均溫板是由純水注入佈滿了微結構的容器而成的雙相流體裝置。熱由外部高溫區經由熱傳導進入板內，接近點熱源週遭的水會迅速地吸收熱量氣化成蒸氣，帶走大量的熱能。再利用水蒸氣的潛熱性，當板內蒸汽由高壓區擴散到低壓區（亦即低溫區），蒸氣接觸到溫度較低的內壁

時，水蒸氣會迅速地凝結成液體並放出熱能。凝結的水靠微結構的毛細作用流回熱源點，完成一個熱傳循環，形成一個水與水蒸氣並存的雙相循環系統。均溫板內水的氣化持續進行，隨著溫度的變化腔體內的壓力會隨之維持平衡。水在低溫運作時其熱傳導係數值較低，但因水的黏稠性會隨溫度不同而改變，故均溫板在5 °C或10 °C時也可運作。由於液體回流是藉著毛細力作用，因此均溫板受重力的影響較小，應用系統設計空間的運用上就可為任何角度。均溫板無需電源亦無任何移動元件，是個完全密封的被動式裝置。圖3.3為均溫板之內部構造圖[36]。

3.2.2 均溫板加熱冷卻機構實驗模具說明

實驗模具有兩個主要機構：加熱機構與冷卻機構。加熱機構部分，主要由均溫板、加熱槓桿、熱源及油壓缸所組成。均溫板固定於模仁下方，利用油壓缸配合射出成型的製程步驟帶動槓桿來接觸並進行加熱，其示意圖如圖 3.4 所示。需要加熱時油壓缸向下對槓桿一邊施壓，另一邊槓桿帶動熱源向上頂住均溫板進行加熱，而當冷卻的時候，油壓缸退回原本位置，帶動槓桿使熱源離開均溫板與模仁，此時並搭配模具內的冷卻系統進行冷卻，冷卻系統是利用渦流管與空氣壓縮機搭配進行空氣冷卻。與射出成型機的成形配合如下說明（如圖 3.5 所示）：

1. 充填前，油壓缸推動槓桿，加熱入子與均溫板接觸，對模仁進行加熱

2. 射出機進行充填階段
3. 充填結束，油壓缸帶動槓桿，讓加熱入子與均溫板分離。此時射出機進行保壓階段
4. 保壓階段結束，射出機進行冷卻階段；此時冷卻系統（渦流管）對模仁進行冷卻。
5. 成形結束，模具開啟頂出。

3.4 模具機構改善方案二：模內旋轉機構

塑膠射出成型應用的塑料種類非常多，結合線痕跡也會因為採用的塑料不同而有所差異。除了一般常見的透明及有色塑料（添加色母成形）外，某些製程還會直接採用添加金屬粉末的塑料，讓塑膠的表面增加金屬光澤。但是這類型的產品在市場上並不常見，主要原因在於成形過程中的結合線影響了外觀。對於此類型的問題，研究中提出兩種模具改善機構，分別是 3.4 節的模內旋轉機構以及 3.5 節的模內沖模機構。

3.3.1 添加金屬粉末塑料射出成型應用

利用噴漆或電鍍等二次加工製程，讓產品的表面有不同的顏色變化或者是金屬光澤以吸引消費者購買，已經是目前產品設計人員的常用方法。但是這些製程不但會增加產品的製造成本，還會在製造過程中造成環境問題；另外，表面塗裝後的塑料，在日後的回收上也會造成環保工作上

的麻煩。為了解決這個問題，塑膠材料商開發出添加金屬粉末的塑膠材料，讓塑膠產品的表面在射出成型後就有金屬光澤的質感（如圖 3.6）。

添加金屬材料的塑料雖然有上述優點，但是在一般生活中，這類型的塑料應用並不常見，最主要的原因是因為一旦採用這種塑料成形，產品上的結合線會非常明顯。結合線更明顯的原因有二：

1. 金屬粉末會隨著塑膠流動波前的移動，而堆積在結合線的痕跡上（如圖 3.7）。
2. 添加金屬粉末後，塑膠在與模具表面熱傳的速度會受到金屬粉末影響，使得其固化速率與未添加前不同。將完成的實驗試片取出結合線的區域，鑲埋之後比對剖面，發現在塑膠皮層與凝固層間有明顯的分界線（如圖 3.8）。

由於結合線的痕跡來自於金屬粉末的堆積，傳統的加熱方式無法解決這個問題（在實驗中以『模具機構改善方案一』進行測試，發現結合線痕跡仍然無法消除，如圖 3.9）。要解決粉末堆積在結合線上的現象，必須採用下列兩種方法：

1. 破壞塑膠流動的波前結構。
2. 讓產品中的孔洞造型部分在塑膠流動充填結束後再形成。

第一種方法能夠讓金屬粉末無法堆積在結合線的位置（擾亂的效果甚至可以將結合線的痕跡打散），而第二種方法則是採用類似二次加工的方法

式，成形品在成形過程中完全不會產生結合線，等到成形後再以二次加工的方法完成原本的孔洞。

本章節將以第一種方法為基礎，設計一個可以安裝在結合線生成位置的旋轉機構，希望能夠在成形時將結合線的痕跡擾亂，甚至進一步達到消除的效果。

3.3.2 模內旋轉機構動作原理說明

旋轉機構之主要目的在於擾亂融熔塑膠的流動，按照功能考量，旋轉系統的重點可以分為下列兩項：

1. 外型部分

為了能夠擾動融熔塑膠，旋轉體的表面必須有凸出的幾何造型以帶動流體，但是形狀必須簡單，避免在塑料固化頂初時，成形品發生破壞的狀況。另外，旋轉體與模穴之間的产品厚度會影響到產品成形後的表面品質（光影與縮水痕），因此在安裝旋轉體時，還必須考慮到旋轉體的安裝深度。

2. 旋轉模式部分

旋轉體將以圓形外觀來做旋轉運動，旋轉速度必須可調整，才能配合不同的塑料進行速度改變。驅動旋轉體的方式必須考慮到所輸出的扭力值會否超過塑膠材料的承受範圍，控制所施加的扭力，要同時能夠達到有效

擾動塑膠高分子流體並且避免使其在成形過程中有應力破壞的情形。

3.3.3 模內旋轉機構實驗模具說明

根據前一節對於機構功能的需求定義，旋轉體的外型與搭配的機構運作可設定如下：

1. 旋轉體外型部分

為避免旋轉體在旋轉過程中將高分子流體與空氣過度捲入，並盡量減少因增加旋轉機構而造成充填過程的阻礙；旋轉體外型將以內高外低的尖型為基本形狀，並且以可更換的方式進行模具設計（以比對不同的外形對擾動效果的影響）。旋轉結合線部位的機構是貼平於模具表面，但為了有效帶動流體，旋轉體進入模穴的深度將設計成模穴厚度的50%，安裝位置為成形件的非外觀面。旋轉體的材料以鋼材PS3D製作。

2. 旋轉模式部分

旋轉體的驅動方式將採用齒排帶動齒輪的方式來動作，如此可使旋轉體來回的運動有效擾動塑膠高分子流體，並可以調整齒排長度來控制旋轉體速度。驅動力來源來自於氣壓缸，與油壓缸相比，氣壓缸有下列優點：速度快，體積小，較小的扭力可以讓在塑件固化後會因為固化塑膠的阻力而自動停止運作。

根據上述要求，設計完成的實驗模具機構如圖 3.10，主要是利用齒輪

加上齒條帶動模穴內的旋轉入子。為了測試旋轉機構外型對於結合線的痕跡影響，實驗中採用了兩種不同的旋轉入子外型（如圖 3.11）。

在塑膠射出成型充填階段，旋轉入子由氣壓缸帶動齒條進行旋轉，塑料進入模穴經過旋轉入子時會因為旋轉入子帶動而攪散結合線的形成。當進入保壓及冷卻階段時，固化的塑料會讓氣壓缸自動停止運動，開模後，產品經由頂出系統頂出。

3.4 模具機構改善方案三：模內沖模機構

產品上有孔洞時，成形後於產品的孔洞後方會因為塑膠會合而產生結合線缺陷。要解決結合線缺陷最簡單的方式，應該是在成形時讓該孔洞消失，成形後再以二次加工的方式完成孔洞。如果二次加工的剪斷機構是安裝在射出成型模具內，在一次的射出成型製程中完成最終的塑件，這種製程稱為模內沖模。

3.4.1 模內沖模成形原理

模內沖模不是一個新的製程，從原理上簡單來說，就是在模具內側安裝一組剪斷機構。在射出成型時，剪斷機構未動作，成形時成品上沒有孔洞，因此成形時不會有結合線問題；在成品固化後，剪斷機構開始動作，在模具內完成剪斷成形，取出的成品就不會有結合線。

整個機構的運動過程中，前半段是單純的塑膠充填，但是後半段則是

塑膠的剪斷成形。Hojo 等人[37]將熱塑性塑膠在室溫下進行低速剪斷，觀察其剪斷情況之分離形態與切口形狀。其研究結果顯示，分離過程以及分離型態大致上可分為三種類型：拉張力造成的破壞，如圖 3.12 (a) 所示；龜裂造成的破壞，如圖 3.12 (b) 所致；以及由龜裂成長及二次剪斷造成的破壞，如圖 3.12 (c) 所示。

3.4.2 模內沖模機構實驗模具說明

模內沖模機構的設計原理，在於應用二次頂出系統完成沖模成形。大部分的成形過程中，頂出都是在一次階段內完成。但是有時候因為特殊需求，會有兩次以上的頂出動作，這種兩次以上的頂出動作，必須透過模具機構的設計加以進行，統稱為二次頂出系統[32]。二次頂出，能夠讓頂出流程順暢化，對於某些頂出行程需求較大的產品，利用二次頂出可以減少頂針在頂出時施加的力量，避免頂出時造成產品上的缺陷。

根據機構動作的原理，二次頂出系統可分為下列三種：

1. 單頂針板組合的二次頂出機構
2. 雙頂針板組合的二次頂出機構
3. 氣動/液壓的二次頂出機構

利用二次頂出機構，可以將其中的一次頂出動作更換成沖模動作，簡化塑件的成形過程。上述三種機構，都能夠應用在模內沖模系統的運作上，但是在實驗時為了參數調整（測試沖頭運動速度對於成形孔的影響），仍先

採用氣壓缸作為剪斷力量的驅動來源，如果所有的參數量測完成，可以再改成傳統的二次頂出模具機構成形。

模內沖模機構在射出成型機充填/保壓/冷卻階段，氣壓缸不做運動，此時安裝於孔洞位置的沖頭未凸出，模穴為一平板。冷卻結束時，氣壓缸作動，沖頭由模具可動側往固定側衝擊，將孔洞外型沖出；接著模具開啟，成品取出。

3.5 模具機構改善方案四：局部加熱機構

塑膠產品的應用雖然廣泛，但是材料的強度、導電性、導熱性以及光澤度仍然不如金屬，在功能性及外觀設計的需求下，利用不同材料的零件（金屬與塑膠）組裝成形的方便成了設計人員的最佳選擇。傳統的製程中，塑膠成形品與金屬製品先分別成形，再以二次加工（螺絲、超音波焊接...等）的方式進行組立。這樣的製程能夠組立不同尺寸/形狀的零件，但是最大的缺點在於量產成本的增加。

3.5.1 嵌入成型製程簡介

嵌入成型製程是一種可以簡化組裝的成形方式，在塑件射出成形前將嵌入件放置於模具內，搭配合適的設計方式，成形塑件與嵌入件可以在一次成形中取得組立件，而不需要額外的二次加工（產品如圖 3.13~圖 3.16）。根據嵌入件材料的不同，目前一般的嵌入成型可以分為兩大類：

1. 薄膜嵌入成型 (film insert molding)

採用薄膜材料為嵌入成型件，嵌入的薄膜會貼附在產品的表面，此類型的製程根據專利及應用的不同，又可細分為 IMD (in mold decoration)、IML (in mold lamination)、IML (in mold labeling)、IMF (in mold film) 等不同的應用，如圖 3.17 所示。

2. 嵌入成型 (insert molding)

一般而言，只要嵌入件材料不是薄膜，只要在成形過程中，模穴內有先放入嵌入件的製程，均統稱為嵌入成型。嵌入件材料並沒有限制為金屬或非金屬。但是如果嵌入件材料屬於塑膠，同時在成形過程中採用多螺桿射出成形機搭配旋轉模具機構成形，此類的嵌入成型又稱為 over molding，成形機台及成形模具如圖 3.18 所示。

3.5.2 嵌入成型製程常見的問題

本篇論文中所研究的嵌入成型，是前述傳統的嵌入成型製程（先完成嵌入件，再將嵌入件放置於模具內進行成形）。由於嵌入成型製程能夠減少二次加工，縮短產品的量產時間，因此許多產品在設計階段，都會考慮採用嵌入成型製程以降低生產成本，但是在現有的製程中，仍然有相當多的問題必須解決。主要的問題可以分為兩大類：外觀問題與結構強度問題。

1. 外觀問題與解決方法

一般而言，塑膠件會採用『均一肉厚』的設計方式，一旦採用嵌入成型，產品的局部就會有肉厚不均的問題，因此一般塑膠射出成型件常見的外觀缺陷（如噴流痕與縮水痕）會更容易發生[1][38][39]；嵌入件的位置因為塑料會合後會形成結合線，因此設計人員還必須考慮結合線的生成位置與其對外觀的影響[40]。

如果嵌入件材質也是塑膠，塑膠與塑膠之間的貼合力會因為材料不同而受到限制。如果貼合力不佳，成形後甚至會發生兩個材料無法貼合而發生脫落的現象。

Battenfeld GmbH [41]的研究中，提出如表 3.1 的材料接合性研究結果，建議使用者在進行嵌入成型或多色多料成形時時必須注意嵌入件與組立件之間的先後順序，以及材料之間的接著性，Advanced Polymer Alloys [42]的研究中，也提出不同材料的接合性結果比較表，這些都是讓設計人員在選擇材料種類及材料成形順序時可供參考的重要資料。

2. 結構強度問題與解決方法

一般嵌入成型件在成形過程中，在結構強度方面會有下列幾項問題 [43]：

1. 當塑膠進入模穴時，塑膠對嵌入件會施加壓力，此部分之壓力會造成嵌入件變形（如圖 3.19）。藉由嵌入件與組立件的肉厚調整，以及澆口位置/澆口數量的改變，可以減少嵌入件的受壓變形。蔡毓斌、徐瑞坤與

蘇嘉宏[44]的研究中，已經確認此方法確實能夠控制嵌入件的受壓變形量，減少嵌入件發生破壞。

2. 當塑膠充填完成，進行保壓/冷卻固化的過程中，由於塑膠與金屬的材料性質不同（尤其是熱膨脹係數/楊氏係數/蒲松比的差異），會讓成形後的組立件發生變形（如圖 3.20）。一般要解決這種問題，主要是從材料上著手。盡量選擇熱膨脹係數與嵌入件較接近的塑膠作為組立件，或者是強化組立件的結構設計，以減少變形的機會。或者是在進行設計時，就先考慮不同材料之間的熱膨脹係數差異，並且在設計時預留干涉量 [45][46]。
3. 結合線位置也會造成強度減低，破壞位置往往就在結合線上。此類問題的解決方法與外觀問題的解決方法相同，改善結合線痕跡也可改善結合線位置的強度。

3.5.3 局部加熱機構原理說明

上述三個問題中，前兩個問題能夠利用澆注系統設計的調整或者是更換材料，得到合理的改良方案，但是第三點結合線問題，仍然長期困擾著設計人員。

傳統的嵌入成型製程中，嵌入件是以人工或機械手臂放入模具，放置時嵌入件的溫度為室溫。當塑料進入模穴通過嵌入件時，塑料的溫度會立

即降低，造成黏度升高，在高黏度下形成的結合線的強度會非常低[47][48]，因此這可能是嵌入成型件破壞位置多在結合線的主要原因。

為了解決這個問題，在本研究中提出一新的局部機構，能夠讓嵌入件在放入模具時立即加熱；在成形完成，產品頂出時自動停止加熱。

3.5.4 加熱裝置

本機構的操作重點，在於讓嵌入件在放入模具時立即加熱；在成形完成，產品頂出時自動停止加熱。

加熱裝置主要是利用模具機構中的滑塊進行運作，由於機構運動與模具相接，因此不需要考慮另外加裝電控裝置控制加熱製程的啟動與停止，操作人員只需要考慮加熱的溫度設定值；加熱裝置不僅適用於嵌入成型上，還可以應用於需要局部加熱的製程中（只要模具內有足夠空間安裝滑塊）。

當嵌入件放入模穴時，加熱機構會與嵌入件接觸，並且對嵌入件進行加熱；模具合模，開始進行充填/保壓時，嵌入件會處於設定的高溫狀態，因此結合線的痕跡可望改善；開模時，由於滑塊與嵌入件脫離，加熱會立即停止。

加熱裝置與射出成型製程的搭配運作如圖 3.21 所示，本機構已於民國九十八年完成中華民國新型專利申請與公告 [49]，專利說明圖如圖 3.22 所

示。

3.6 殘留應力改善方案：利用熱處理消除殘留應力

殘留應力是產品在成形過程中所產生，被『凍結』在產品內的應力。殘留應力如果超過產品原本的結構強度，產品可能在成形後立刻發生變形，或者是在承受外部負荷後再發生破壞。與結合線不同的一點，在於不論產品有沒有孔洞等造型，殘留應力一定會發生。因此幾乎沒有辦法藉由模具機構改良，徹底解決殘留應力問題。

在文獻回顧中，已經整理出解決殘留應力的方法。也確定了熱處理的確能夠對殘留應力的改善，達到一定程度的效果。不過熱處理條件與殘留應力的改善程度，一直以來並沒有一套確認的數據，大部分的成形人員都是根據經驗進行測試。因此本研究將以不同的熱處理條件，針對指定材料進行實驗，以得到正確的數據。。

3.6.1 殘留應力的量測方法

Withers 與 Bhadeshia[50] 整理了各種的殘留應力表現方式，並且針對不同的產品整理出適合的殘留應力量測方法；黃峽宏等人[51]也針對塑膠材料，整理出常用的幾種殘留應力量測方法。以塑料而言，以往使用的量測方法為下列三種：分別是剝層法（layer-removing method）、鑽孔法（hole-drilling method），以及光彈法。其中剝層法與鑽孔法屬於破壞性量

測，光彈法屬於非破壞性量測。

剝層法的應力計算方式如圖 3.23 所示，剝層法的原理[51]是將成形品的表面剝除一薄層，塑件成形過程中形成的殘留應力會讓剝除下來的薄層發生彎曲變形，量測此薄層發生的曲率變化量，再利用內應力平衡方程式，計算殘留應力。剝層法量測殘留應力對於材料沒有限制，但是銑削去除薄層時會產生熱量，讓表層下的部份發生應力鬆弛，量測得到的殘留應力會受到銑削速度的影響而發生誤差；另外，由於銑削後產生的潛變會讓曲率發生緩慢的變化；而且銑削時必須將彎曲產品先壓平，銑削後由於黏彈效應，曲率不會立刻恢復；再加上曲率量測準確度不易掌握，都是剝層法量測殘留應力時可能會發生的問題。

鑽孔法[52]一般應用於大型成品，鑽孔後量測孔洞的變形量，再根據應力平衡方程式計算殘留應力。鑽孔法可以量測產品內側的殘留應力，但是由於鑽孔尺寸大多在 0.8mm~4mm，加上塑膠鑽孔後往往會發生破裂現象，鑽孔法一般而言僅是用於厚件塑膠產品或者是金屬製品。

由於上述原因，一般應用於射出成形塑件的殘留應力量測方法多半採用光彈法（但是材料必須是透明材料）。因此在本研究中，將以光彈法進行塑膠材料的殘留應力量測。

3.6.2 光彈法量測應力的原理

當透明材料受到應力發生彈性應變時，其折射率會發生變化。原本是光學各向同性的，會發生雙折射現象；而原本是光學各向異性的，其雙折射率會發生變化，這種現象稱為光彈性現象（Photoelasticity）。

光彈法量測殘留應力一般適用於透明非結晶性（amorphous）塑膠材料，例如聚碳酸酯（polycarbonate，簡稱 PC）與聚甲基丙烯酸甲酯（polymethyl methacrylate，簡稱 PMMA，中文簡稱為壓克力）。由於光彈法不會破壞試片，對於某些對光學性質要求非常高的塑件（例如塑膠透鏡）便成為最佳的量測方法。其作法是用偏振光通過塑件，入射光在通過塑件後會發生雙折射現象，再通過檢偏振器，在屏幕上顯示出干涉條紋的圖像。分析圖像，可得出塑件內的應力分布與所受負荷間的數量關係。

存有應力之塑膠材料中，在特定平面上可將應力分成兩個主軸應力，此兩主軸不均勻之應力將使材料產生兩個不同的折射率。因此光要通過此材料時，沿二個主應力方向振動的光波彼此有不同的速率，穿出材料時，則會有相對速度差產生。而此相位差將正比於平面上的兩個主軸應力之差值。

在光彈現象中最常見的應用為二維平面應力結構的問題。二維應力光學定律是指一透明塑膠材料受應力作用時將產生雙折射現象，當光線穿透具雙折射率材料時，光在材料內行進之速度也會不同，而且在模型中任何一點的主應力軸會變成板中的快軸與慢軸，因此折射率為應力狀態的函

數，然而不像波片一樣，光彈材料並不會將光偏振，而是折射率會隨快軸與慢軸作連續變化。當偏極光進入有應力作用之雙折射材料時，光線會分為較快速及較慢速兩光束，其速度差相對距離則稱為相位差或遲延（retardation, R）。其折射率亦會隨著所受應力變化而改變，當物體的應力狀態和光交互作用，則可由光彈條紋可推知物體的應力狀態。

光彈性量測應力的方法其主要優點在於可瞭解產品於外力作用瞬間或成形加工後，其整體的應力場分佈，並可實際用於產品檢測上。光源若使用白光的話，光彈條紋是彩色的條紋，根據應力條紋對照表可以得到某一種顏色的條紋代表某階的條紋（fringe order）。而使用單色光當作光源時，透明塑膠材料遭受應力時在單色的光彈條紋中，粗線的地方代表該點之主應力方向與 X 軸（或 Y 軸）平行。因此兩道光之相位差為整數波長，因而造成光場之明暗條紋，光場之條紋可以肉眼觀察，條紋越密集的地方，表示應力愈大，亦是應力集中的地方，也是材料最先開始發生破壞之處，是應力偏光儀量測觀察應力之原理。

應力狀態下的折射率的原理是由 Maxwell(1853)所提出。根據 Maxwell 的觀察，折射率的改變為主應力軸的線性方程，其關係表示如下：

$$n_1 - n_0 = P_{11} \times \sigma_1 + P_{12} \times \sigma_2 \quad (3-1)$$

$$n_2 - n_0 = P_{11} \times \sigma_2 + P_{12} \times \sigma_1 \quad (3-2)$$

其中 n_0 為在未受應力狀態下的折射率， σ_1 與 σ_2 為主應力軸， n_1 與 n_2 為與

σ_1 與 σ_2 結合的折射率， P_{11} 與 P_{12} 為應力光學係數 (stress-optic coefficients)。

由 (3-1) 與 (3-2) 兩式相減得到：

$$n_2 - n_1 = (P_{12} - P_{11})(\sigma_1 - \sigma_2) = c(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (3-3)$$

其中 $c = P_{12} - P_{11}$ 為相對應力光學常數，可改寫為

$$n_2 - n_1 = \Delta\lambda / (2\pi h) \quad (3-4)$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \Delta\lambda / (2\pi hc) \quad (3-5)$$

$$\text{得到 } \sigma_1 - \sigma_2 = N f_\sigma / h \quad (3-6)$$

由應力偏光觀測所得之干涉光譜條紋，可計算出材料之雙折射率及主應力差值。其中 N 為 Fringe Order，以及 $f_\sigma = \lambda/c$ 表示材料條紋常數 (material fringe value)，單位為「應力-長度」。若 N 可計算出來，且對於特定材料的 f_σ 已知，主應力的差即可求出。

3.6.3 剪應力差積分法 (shear-difference method)

為了計算等效應力值 σ ，必須要分離最大 (σ_1) 與最小 (σ_2) 主應力值，理論推導如下：[53] [54]

由於 Equilibrium Equations neglect body force， $\sigma_z = 0$ 時，可表示為：

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (3-7)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (3-8)$$

由 (3-7) 式可得知 $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}$ ，再對 $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$ 兩邊積分，可以得到

$$\sigma_x = (\sigma_x)_0 - \int \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \partial x, \sigma_y = (\sigma_y)_0 - \int \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \partial y \quad (3-9)$$

以有限差分法進行微分及積分：

$$\sigma_x = (\sigma_x)_0 - \sum \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \partial x \quad (3-10)$$

$$\sigma_y = (\sigma_y)_0 - \sum \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \partial y \quad (3-11)$$

$(\sigma_x)_0$ 、 $(\sigma_y)_0$ 為已知點的應力。

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \times \sin 2\theta \quad (3-12)$$

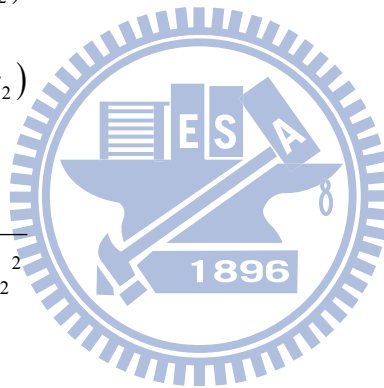
由 Fringe Order (N) 可得到 $\sigma_1 - \sigma_2$ ， θ 為等傾角，求出 σ_x 與 σ_y 後，代入

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (3-13)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (3-14)$$

並求出等效應力：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (3-15)$$



3.6.4 利用不同的熱處理條件消除殘留應力

實驗將採用透明聚碳酸酯 (Polycarbonate, 簡稱 PC, 料號為 GE Plastics LEXAN[®] 141R) 配合不同的熱處理條件進行測試，並且以光彈法量測殘留應力以進行比對，希望能夠得到殘留應力與熱處理時間的相關資料。

表 3.1 材料貼合性[39]

(+ : 接合性佳 / - : 接合性差 / ○ : 無接合性)

	ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 66	PC	PE-HD	PE-LD	PMMA	POM	PP	PPO mod	PS-GP	PS-HI	PBTP	TPU	PVC	SAN	TPR	PETP	PVAC	PSU	PC-PBTP Blend	PC-ABS Blend
ABS	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	○	○	+	+	+	+	○	+		+	+	+	
ASA	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	○	-	+	+	+	+	○	+		+	+	+	
CA	+	+	+	○			-	-		-	-	-	-	-	+	+	+	+	-						
EVA	+	+	○	+			+	+			+		+	+			-	+							
PA 6	+	+			+	+	○	○		-	○	-	-	-	+	+		+	-				+	+	
PA 66	+	+			+	+	○	○	○		-	-	-	-	+	+		+	-				+	+	
PC	+	+			+	○	+	-	-		-	-	-	-	+	+		+	-	+		+	+	+	
PE-HD	-	-	-	+	○	○	-	+	+	○	○	-	-	-	-	-	-	-	○	-		-	-	-	
PE-LD	-	-	-	+	○	○	-	+	+	○	○	+	-	○	-	-	-	-	○	-		-	-	-	
PMMA	+	+						○	○	+		○	-	-	-	-	+	+		-			+	+	
PDM	-	-	-		-	-	-	○	○		+	-	-	-	-	-		-		-			-	-	
PP	-	-	-	+	○	-	-	-	+	○	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+			-	-	-
PPO mod	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	○	+			-	-	-
PS-GP	○	○	-	+	-	-	-	-	○	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS-HI	○	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	○	-		-	-	-	-
PBTP	+	+	+		+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+		+	+	+
TPU	+	+	+		+	+	+	-	-		-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+			+	+
PVC	+	+	+	-			-	-	+		-	-	-	-	+	+	+	+					+	+	
SAN	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	○	-	+		+	+					+	+	
TPR	○	○	-		-	-	-	○	○		+	+	-	○						+	-		-	-	-
PETP	+	+					+	-	-		-	-	-	-	+				-	+		+	+	+	
PVAC																					+				
PSU	+	+					+	-	-		-	-	-	-	+			-	+			+	+	+	
PC-PBTP Blend	+	+			+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+		+	+	+	
PC-ABS Blend	+	+			+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+		+	+	+	

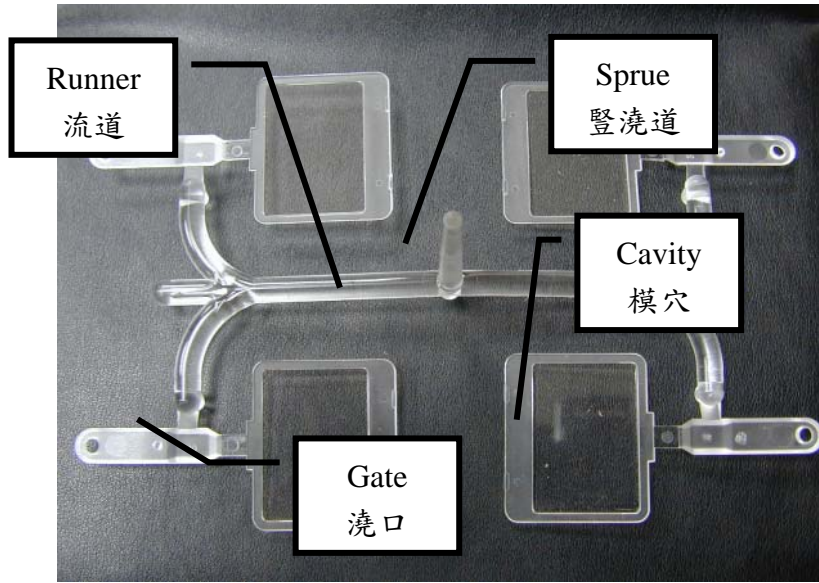


圖 3.1 塑膠產品澆注系統

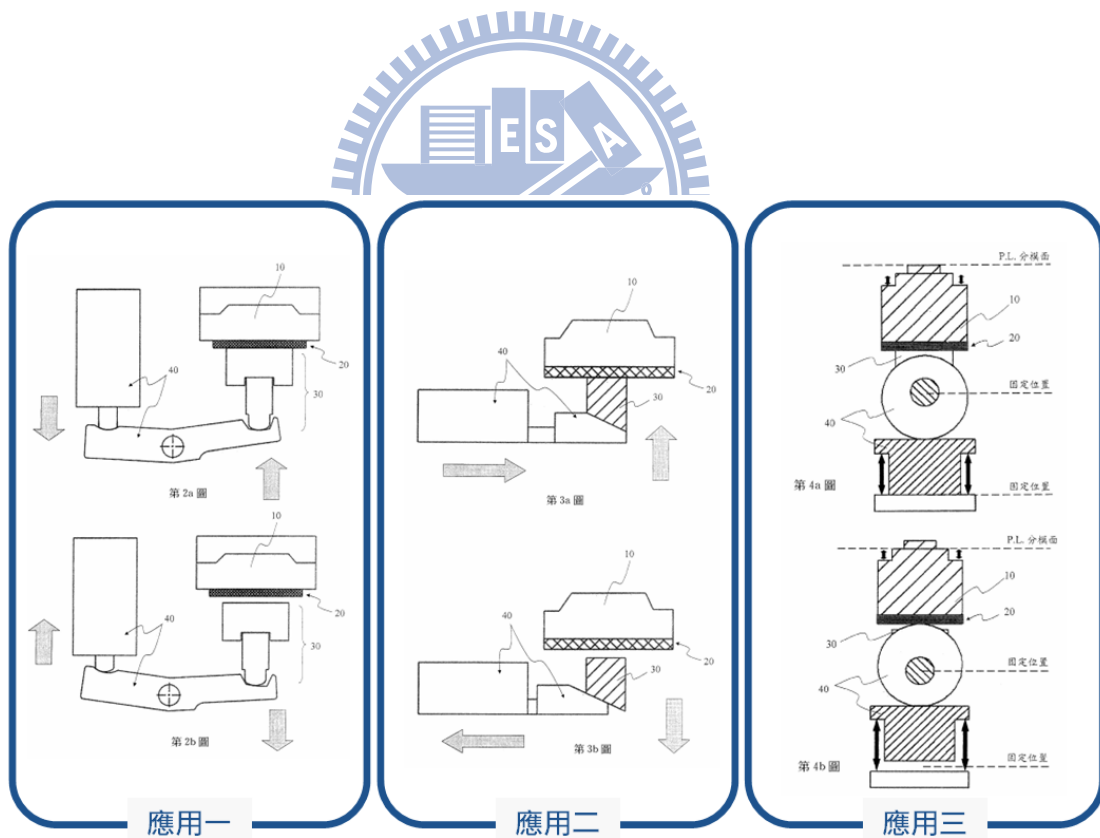


圖 3.2 中華民國新型專利 M295582 專利示意圖[34]

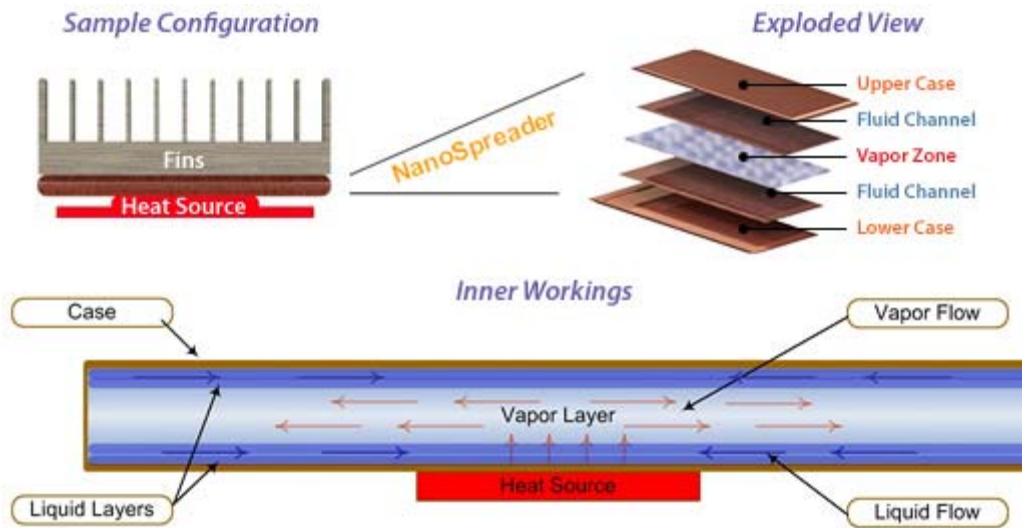


圖3.3 Celsia[®] 公司之均溫板 (NanoSpreader™) [36]

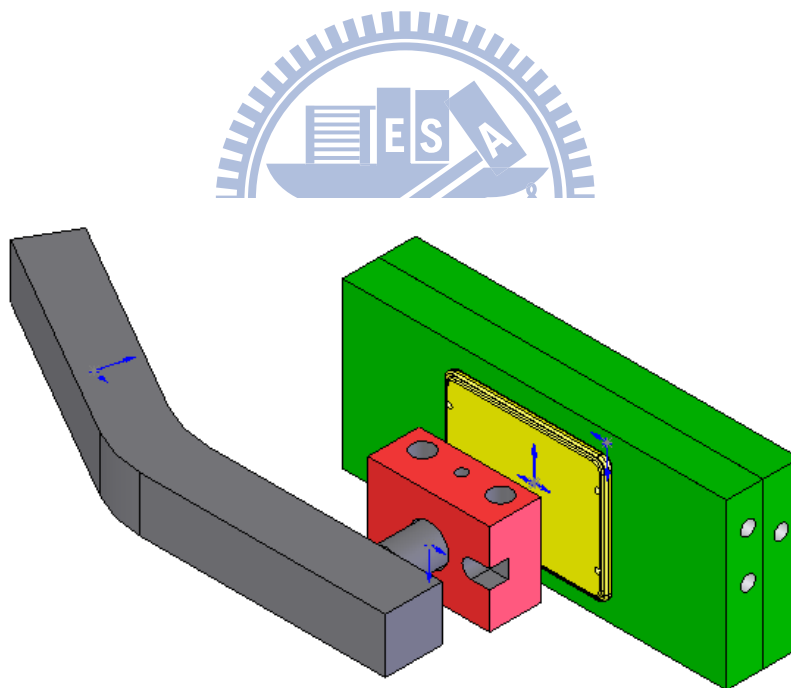


圖 3.4 加熱槓桿示意圖

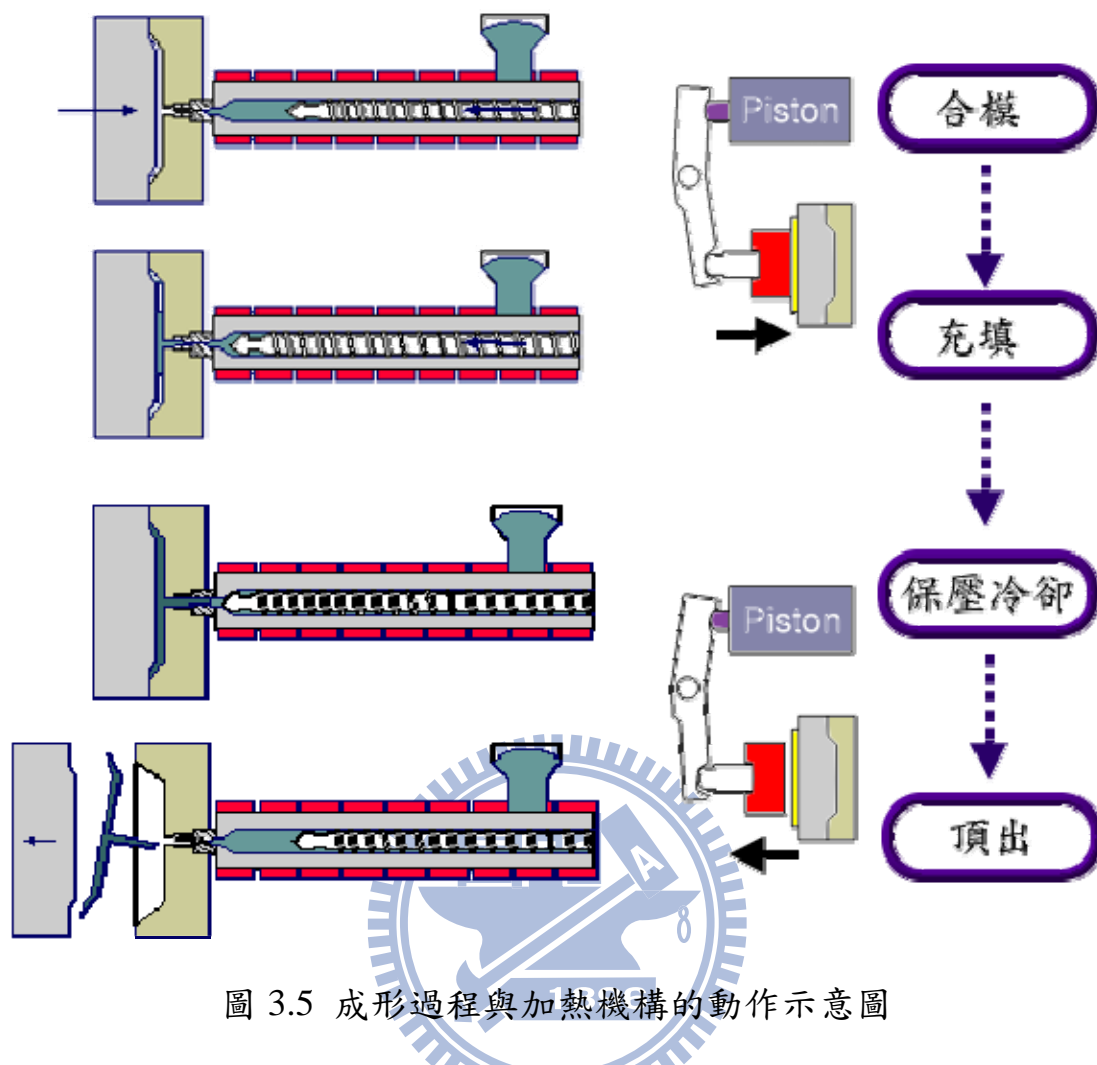


圖 3.6 採用添加金屬粉末塑料成形的機車頭燈外殼件

(提供廠商：台灣山葉機車)

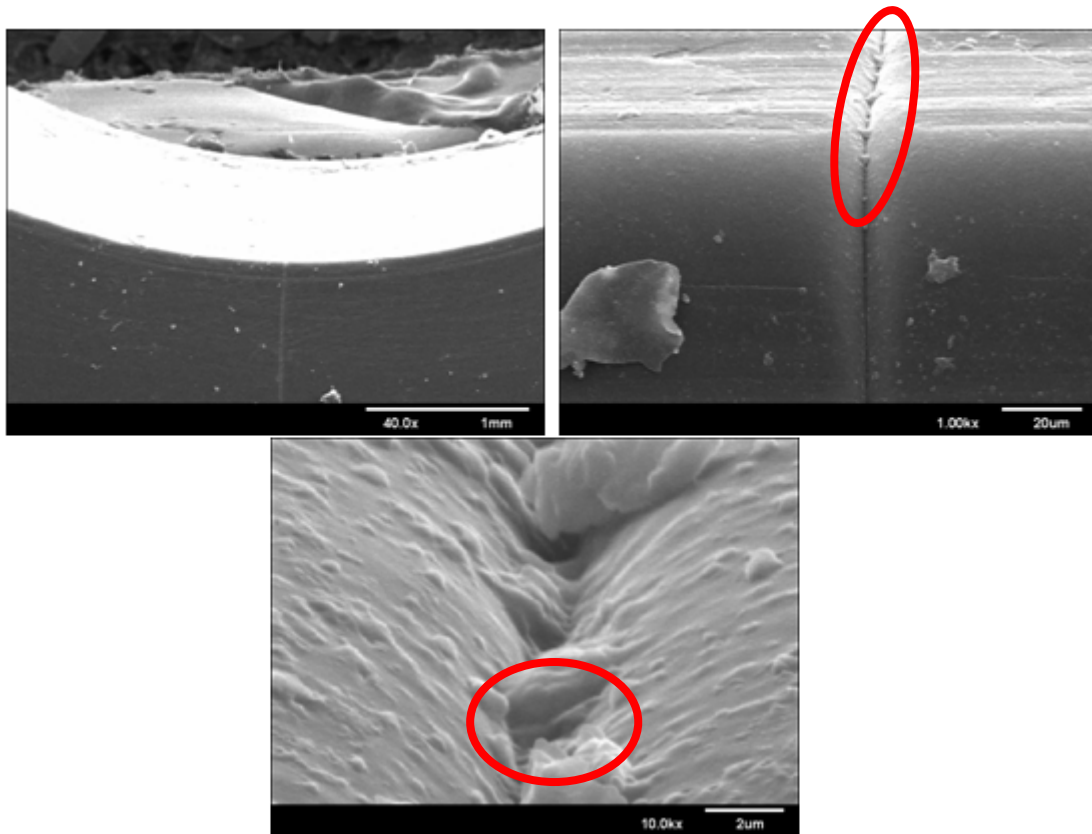


圖 3.7 堆積在結合線上的金屬粉末

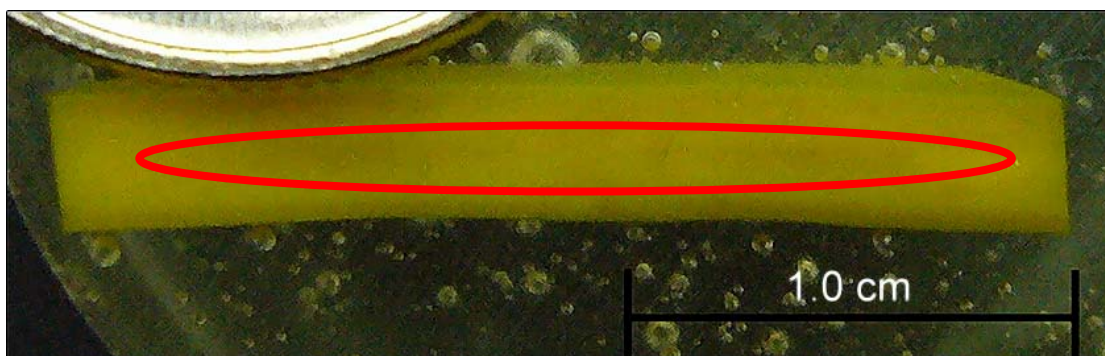


圖 3.8 塑膠皮層與凝固層間有明顯的分界線（陰影區域）

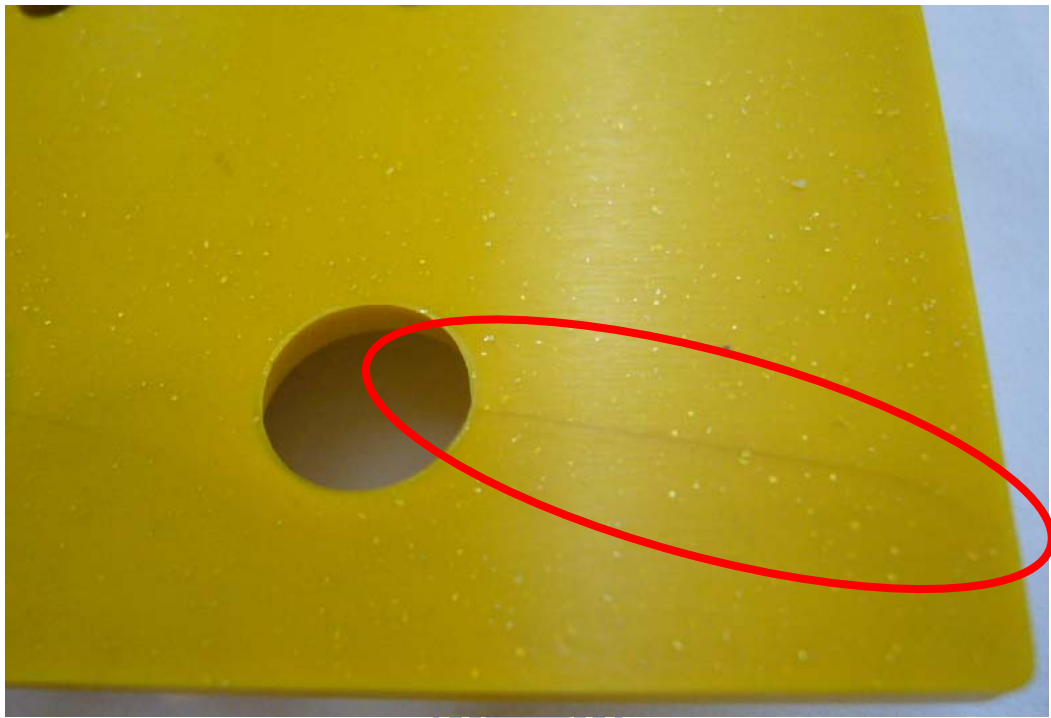


圖 3.9 採用模具機構改善方案一製作的成形試片

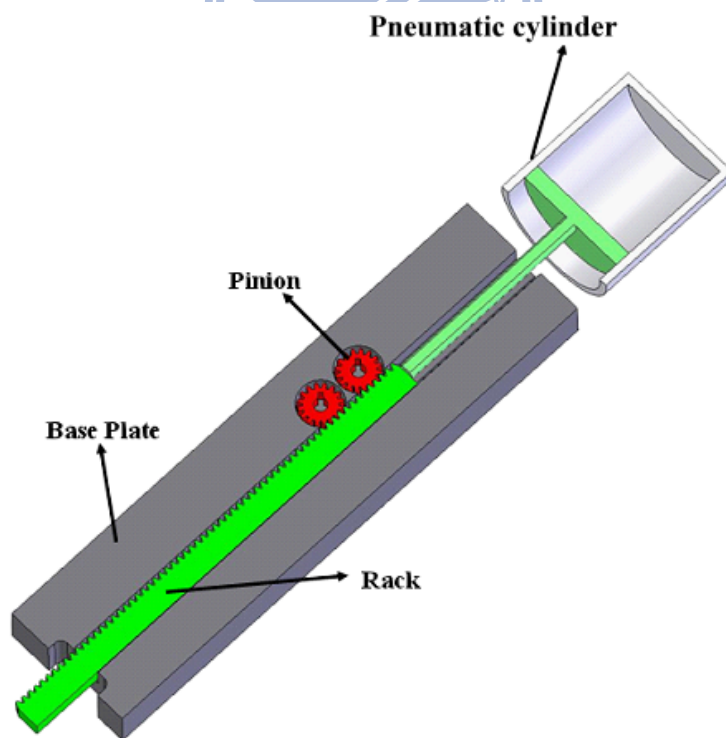


圖 3.10 模內旋轉機構示意圖

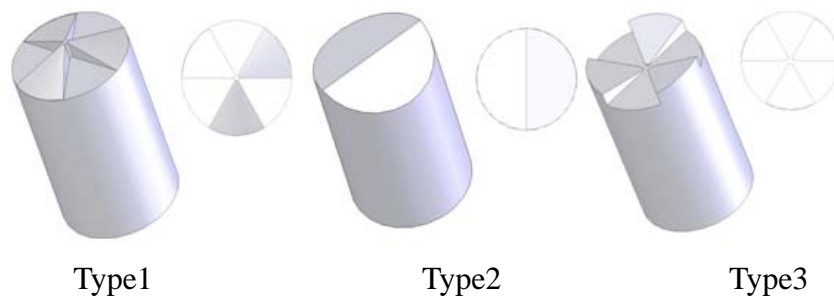


圖 3.11 旋轉體造型

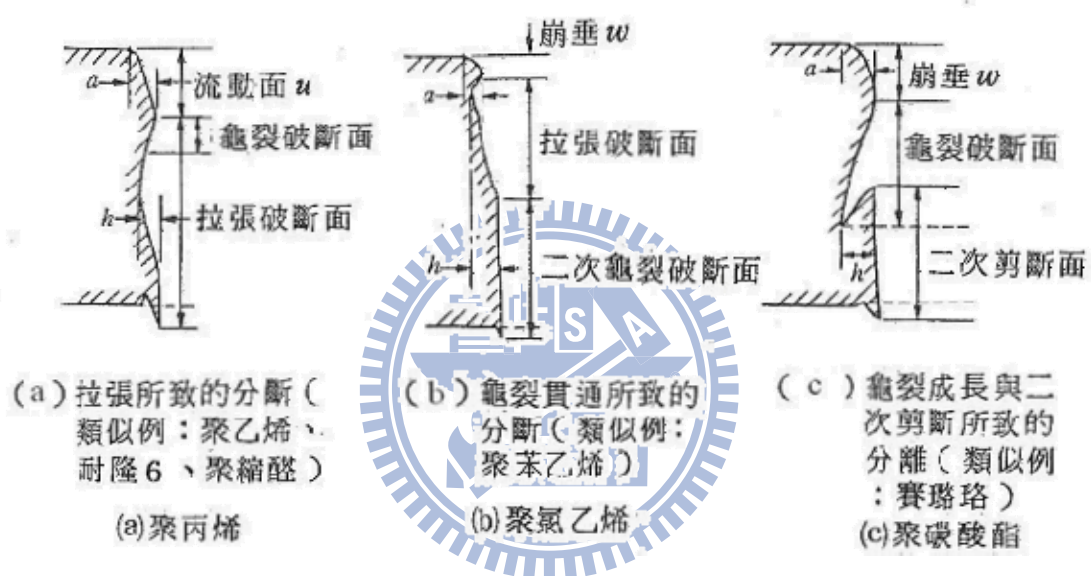


圖 3.12 熱塑性塑膠的剪斷面切口形狀[55]

(間隙 5%，加工直徑 32 mm，室溫 24°C)



圖 3.13 常見之嵌入成形件



圖 3.14 Ray Ban[®] 太陽眼鏡鏡架（金屬/TPE）



圖 3.15 Wafer 連接器[56]



圖 3.16 螺栓嵌入成形[57]



圖 3.18 Film insert molding 產品[58]

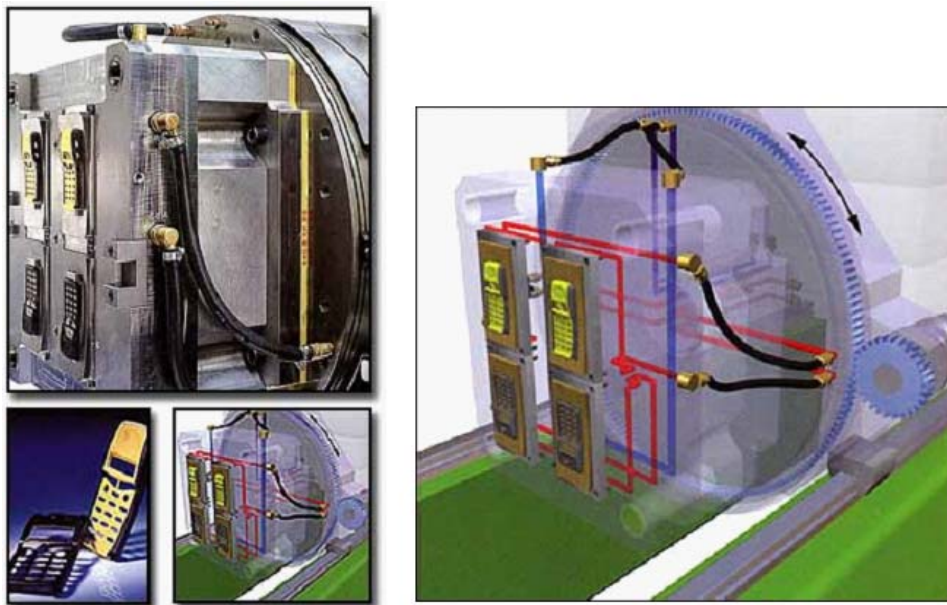


圖 3.19 Overmolding 示意圖[59]

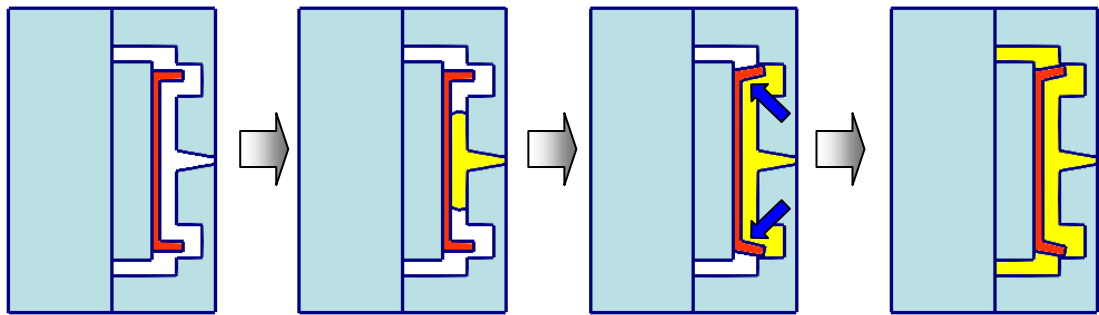


圖 3.19 充填塑膠對嵌入件施加壓力造成嵌入件變形[60]

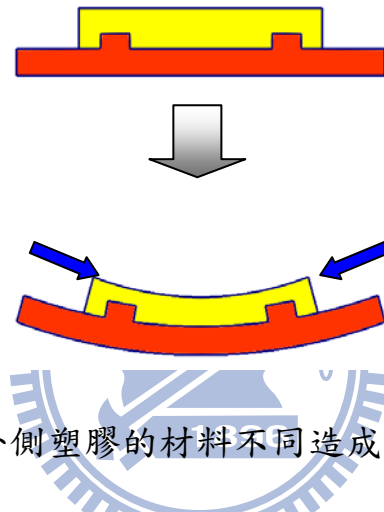


圖 3.20 嵌入件與外側塑膠的材料不同造成組立件發生變形[60]

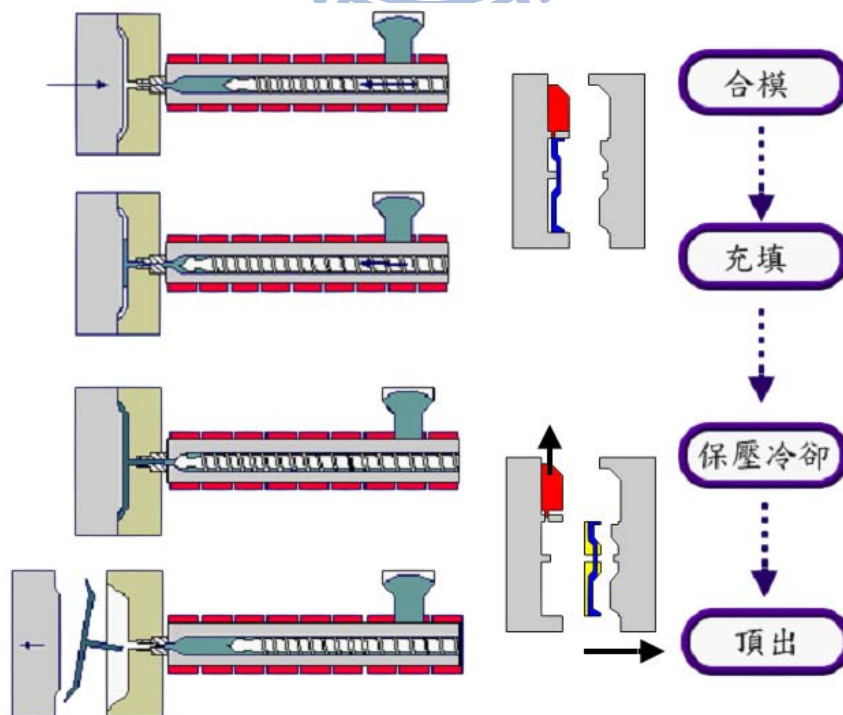


圖 3.21 成形過程與局部加熱機構的動作示意圖

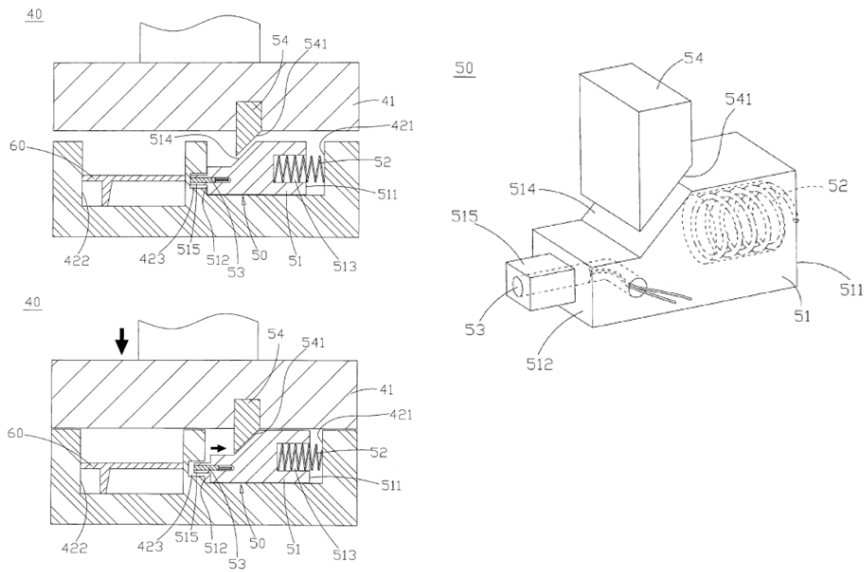


圖 3.22 中華民國新型專利 M351142 專利示意圖[49]

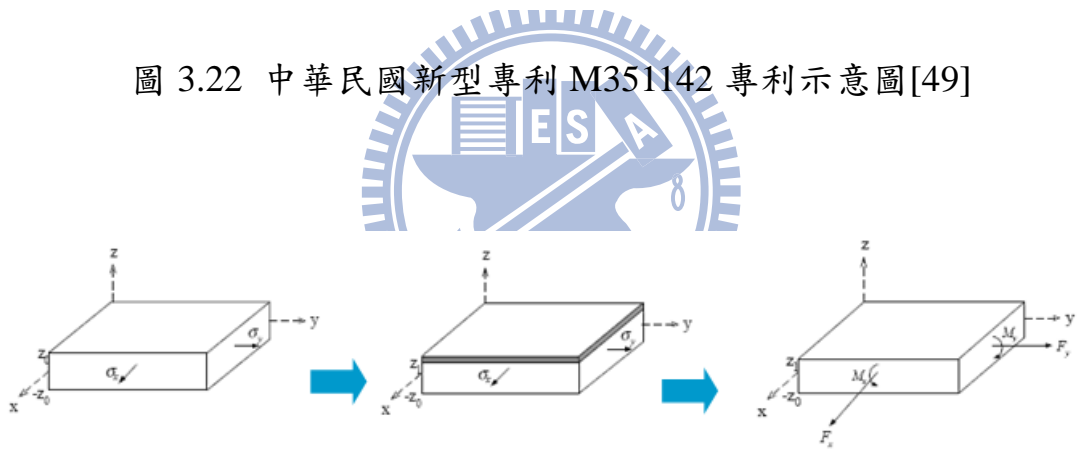



圖 3.23 剝層法應力計算示意圖[51]

第四章、數值模擬分析軟體

電腦輔助工程 (Computer Aided Engineering, CAE) 軟體的大量應用，不但讓工程業界大幅縮短產品開發週期，量產時的問題預測與良率提昇上更有極大的幫助。本研究中，除了實驗驗證外，還將以數值模擬分析軟體進行分析結果的確認。

本研究中應用於塑膠流動的計算軟體，包括了計算流體力學軟體 (FLOW-3D) 以及模流分析軟體 (3D TIMON)。以下將針對這些軟體進行簡單的介紹。

4.1 計算流體力學軟體 FLOW-3D 簡介[61]



1963 年，Dr. W.W. Hirt 在美國 Los Alamos 國家實驗室從事計算流體力學方法的研究，開發了著名的自由液面的計算技術 VOF (Volume of Fluid)；1980 年，Dr. W.W. Hirt 創立了 Flow Science Inc.，開發了 FLOW-3D。FLOW-3D 是一套應用於計算流體力學的專業軟體。由於理論基礎乃是根據流體力學之連續方程式、動量方程式等，因此幾乎可以應用在各種類型的流體問題。流體自由液面計算方法 VOF 不但能夠模擬複雜的流體行為，還可避免大量的記憶空間浪費並節省計算時間；計算採用的數值方法則是有限差分法 (Finite Difference Method, FDM)。FLOW-3D 有完整的前處理功能，能夠建構簡單的幾何圖形以及進行網格切割。其網格

切割法為矩形網格，相當容易建構，搭配 FAVOR（部分面積/體積）專利計算方式，可用來描述複雜的幾何外型，解決傳統 FDM 計算時鋸齒狀的矩形網格問題。

General Moving Object (GMO) 模型是 FLOW-3D 在 9.0 版之後所增加的功能，此功能可模擬剛體與流體之間的作用狀態，包含耦合運動、定點旋轉運動、六自由度的運動等。

在數值模擬流程中，必須先完成材料的建立。由於 FLOW-3D 支援 Carraeau Model 的黏度模型，因此必須先建立測試材料的黏度模型，才能執行進一步的分析。

FLOW-3D 所採用的黏度模型 Carraeau Model 如下所示。


$$\mu = \mu_{\infty} + \frac{\mu_0 - \mu_{\infty}}{\left[1 + (\lambda_1)^2 e_{ij} e_{ij}\right]^{\frac{1-n}{2}}} \quad (4.1)$$

μ ：流體黏度 (viscosity)

μ_0 ：分子黏度 (molecular viscosity)

λ_1 ：經驗曲線擬合常數 (empirical curve fitting coefficients)

n ：經驗曲線擬合常數 (empirical curve fitting coefficients)

μ_{∞} ：剪力無限大時之流體黏度 (viscosity at infinite shear)

e_{ij} ：由黏度場計算而得之流體應變率 (fluid strain rate computed from viscosity field)

分析前，先從材料商取得測試材料的黏度與溫度、壓力測試值 (材料

商從材料庫中轉出)，再利用 Table Curve 3D 將黏度/壓力/溫度數值輸入，便且建立 Carreau Model 方程式，再利用 Table Curve 3D 內建之數值吻合計算將計算出相關之常數。

4.2 塑膠模流分析軟體 3D TIMON 簡介

3D TIMON 塑膠模流分析軟體是由日本東麗工業 (Toray Industries) 子公司 Toray Engineering Co., Ltd. 所開發之三維塑膠模流分析軟體，是全世界第一套以實體網格進行翹曲變形的商業版軟體 (註：1996 年於日本正式發表)，藉由 3D TIMON 塑膠模流分析軟體使用者可預測塑膠射出成型時塑膠的流動、保壓、冷卻以及產品的變形等問題點，節省使用者 Trial & Error 的時間，提供使用者一套完整的設計製造解決方案。

3D TIMON 的特色包含了：

- 可接受多種 CAD 圖檔及有限元素網格格式
- 內建網格產生器，可用『全自動』或『半自動』的方式產生有限元素網格。
- 提供三維充填、保壓、冷卻，變形等計算
- 特殊模組 (超薄件模組、嵌入成形模組，光學模組) 等應用
- 轉換模組 (可將模流分析的結果轉出至結構分析軟體進行計算)

以下將針對 3D TIMON 的程式原理進行說明[62]，並且對其轉換模組

的接續計算部分進行描述。

4.3 模流分析

4.3.1 2.5D 充填分析

塑膠射出成形的流動分析，一般是由下列三個方程式組成：連續方程式、動量方程式，以及能量方程式。

連續方程式 (continuity equation)：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.2)$$

u 、 v 、 w 分別代表流體元素在 x 、 y 、 z 三方向的速度向量

動量方程式 (equation of motion)：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \quad (4.5)$$

P ：壓力

τ ：剪應力

能量方程式 (equation of energy)

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

$$+ \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \tau_{yz} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \tau_{zx} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (4.6)$$

ρ ：密度 (density)

C_p ：比熱 (specific heat)

T ：溫度 (temperature)

t ：時間 (time)

k ：熱傳導係數 (thermal conductivity)

前述三個方程式 (連續方程式、動量方程式，以及能量方程式) 不僅應用於塑膠射出成形，同時還可用來描述各種不同的流體運動；但是上面三式中有太多的變數，在數值計算時會耗費太多的時間。

因此傳統 2.5D 的模擬分析中，導入 Hele-Shaw model 以簡化上述方程式。Hele-Shaw model 忽略了肉厚方向的流率 (flow rate)，這在塑膠射出成形製程中，可以適用於薄殼成形 (thin wall modeling)。在忽略了 in-plane velocity gradient 後，上述三式可以簡化成下列方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (4.9)$$

(4.8) 中的 u 與 v 可以用下列方程式表示：

$$u = -\frac{H^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) \quad (4.10)$$

$$v = -\frac{H^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \quad (4.11)$$

上述方程式說明各方向的流率與壓力梯度 (pressure gradient) 成正比。

假設流動屬於簡單剪力流 (simple shear flow)，(4.10) 與 (4.11) 式中的 τ_{zx} 與 τ_{zy} 還可以簡化成下列方程式：

$$\tau_{zx} = \mu \dot{\gamma}_{zx} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4.12)$$

$$\tau_{zy} = \mu \dot{\gamma}_{zy} = \mu \frac{\partial v}{\partial z} \quad (4.13)$$

將(4.12)與 (4.13) 式對厚度方向作積分，可以得到每個方向的流率；下式代表 2-dimentional-like flow (shell element) 以及 1-dimentional-like flow (beam element) 的流率大小：

$$Q = \frac{H^3}{12\mu} \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right)^2} \quad (\text{for Shell Element}) \quad (4.14)$$

$$Q = \frac{\pi \times r^4}{8\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (\text{for Beam Element}) \quad (4.15)$$

上式中， $H^3/12\mu$ 與 $\pi r^4/8\mu$ 又稱為 flow conductance。

H : shell element 厚度 (thickness)

μ : 黏度 (viscosity)

r : beam element 半徑 (beam radius)

能量方程式(3) 的簡化

由於塑膠在充填過程中材料溫度會變化，加入下列四個考量重點：

1. heat transfer due to advection
2. heat transfer to the mold surface
3. shear Heating
4. in-Plane heat conduction

3D TIMON 忽略了(D)項的影響，將(A)~(C)的考量放入能量方程式，得

到下列方程式：

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \mu \dot{\gamma}^2 \quad (4.16)$$

$$\dot{\gamma}^2 = \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (4.17)$$

ρ ：密度 (density)

μ ：黏度 (viscosity)

$\dot{\gamma}$ ：剪切率 (shear rate)



上式中剩下的兩個變數為壓力 P 與溫度 T。

4.3.2 從 2.5D 充填分析轉換至 3D 充填分析

傳統的 2.5D 分析中，塑膠的流動可以用二維的 shell element 與一維的 beam element 加以描述；為了應用到真實的三維流動，將導入下列方程式：

$$U_i = -C_f(\eta, X_i) \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (i=1,2,3) \quad (4.18)$$

C_f ：流導 (flow conductance)

在三維分析中可以定義為由 viscosity (μ) 與位置 (X_i) 共同描述的函數；上式中假設在 x,y,z 三方向的流率 (U_i) 與三方向的壓力梯度成正比。

舉例而言，在薄殼模型中，下列方程式可以代表在 H 方向（肉厚方向）的 flow conductance，所以前述方程式仍然可應用於 2.5D 的 Hele-Shaw flow：

$$C_f = \int_0^H \frac{z}{\eta} dz \quad (4.19)$$

4.3.3 保壓分析

在取得保壓壓力後，藉由 3D TIMON 用來描述材料 P-V-T 現象的方程式(4.20~4.22)，可以得到隨著時間變化的壓力、熱收縮，以及隨著溫度降低而改變的流率大小（4.23）。

$$V = \frac{A_2}{P + A_1} T + \frac{A_4}{P + A_3} T + A_5 \exp(A_6 T - A_7 P) \quad (T < T_c) \quad (4.20)$$

$$V = \frac{B_2}{P + B_1} T + \frac{B_4}{P + B_3} \quad (T > T_c) \quad (4.21)$$

$$T_c = C_1 P + C_2 \quad (4.22)$$

V ：比容（specific volume）

$A_1 \sim A_7$ ； $B_1 \sim B_4$ ：常數（constant）

T_c ：臨界溫度（critical temperature）

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.23)$$

P ：壓力（pressure）

V ：比容 (specific volume)

T ：溫度 (temperature)

T ：時間 (time)

4.3.4 變形分析

執行變形分析前，下列幾項是基本假設：

- 模具開啟頂出產品時，產品的形狀與模穴外型一致
- 假設產品頂出時，產品應力值為零
- 熱膨脹係數與其他材料參數在頂出後為常數 (保持不變)
- 產品的變形量與應變值與產品尺寸相比非常小

從前述假設，一個元素的變形時的應力應變關係可由下式表示：

$$[E]\{\varepsilon - \varepsilon_0\} = \{\sigma\} \quad (4.24)$$

ε 與 σ 是應變與應力值， ε_0 則是在保壓/冷卻分析後因為收縮而得到的應變值， $[E]$ 則是從材料物性分析中得到的彈性模數矩陣 (Elastic-modulus matrix)。

根據上式與有限元素法理論，可以得到下式：

$$\{K\}\{U\} = \{f_0\} \quad (4.25)$$

$[K]$ ：剛度 (rigidity matrix)

$\{U\}$ ：節點位移 (node displacement) 矩陣

$\{f_0\}$ ：因為不平衡的熱量產生的應變造成的負載矩陣 (load equivalent to strains as a result of thermal imbalance shrinkage)

從上式中可以得到變形結果。

4.3.5 轉換模組 (Translator)

轉換模組 (Translator) 是 3D TIMON 內將材料屬性資料轉出至一般的結構分析軟體的一個轉換程式，支援下列三種結構分析軟體：

1. NASTRAN

2. ABAQUS

3. ANSYS

轉換模組可轉出下列三種資料：

- Warp analysis file

Warp analysis file 是將保壓冷卻分析後的資料轉出，可以在 NASTRAN/ABAQUS/ANSYS 內執行原本應該在 3D TIMON 內執行的翹曲變形模組。轉出的資料包括了材料屬性、密度，以及每個節點的热負載。使用人員將資料讀入後可立即執行分析。

- File for structural analysis of pre-deformation model

在執行 3D TIMON 的翹曲變形資料後，所轉出的網格圖檔。資料內有材料屬性等參數，但是網格是『未變形』的網格。

- File for structural analysis of post-deformation model

在執行 3D TIMON 的翹曲變形資料後，所轉出的網格圖檔。資料內有



材料屬性等參數，但是網格是『已變形』的網格。

在一般結構分析軟體內執行 Warp analysis file，除了可以得到產品的變形量外，還能夠得到應力、應變等數值結果。

4.3.6 嵌入成形模組 (Insert Molding Module)

3D TIMON 的嵌入成形模組可以適用於金屬/塑膠以及塑膠/塑膠等產品模擬，同樣的，變形的結果除了可以在 3D TIMON 內得到外，也可以將資料轉出至其他的結構分析軟體進行分析。與一般傳統射出成形模組轉出資料的最大差異，在於嵌入件的材質會一併帶入結構分析進行計算。

嵌入成形模組的分析結果主要包含兩部分：嵌入件以及整體組立件。在嵌入件部分，嵌入成形模組可計算當塑料進入模穴時，嵌入件因為塑料充填而施加於嵌入件上的壓力分布，根據這項資料，可計算嵌入件在充填時可能發生的翹曲變形。在組立件部分，則是可提供整個產品（包含組立件與嵌入件）在成形固化後可能發生的翹曲變形量預測。

第五章、實驗結果討論與數值模擬驗證

在第三章中，總共提出了五個不同的改善方案（包括了四種不同的模具機構改善方案，以及熱處理改善殘留應力方案），相關的實驗細節以及數值模擬的結果將在本章節進行討論。

5.1 應用均溫板加熱冷卻機構消除結合線

本實驗是根據中華民國新型專利 M295582 『射出成型模具之加熱冷卻裝置』中的設計式樣開發的模具機構，主要是要測試該模具加熱機構是否能夠解決結合線問題。實驗總共分為兩部分，第一部分是測試均溫板與加熱入子組合而成的『加熱機構』之工作效率，第二部分則是測試該機構在結合線問題的改善。

5.1.1 加熱機構的工作效率

由於機構中的『加熱設備』是由熱源（加熱入子）與均溫板兩者組合而成，整組加熱設備再安裝於模仁下方。為了確認模具在成形過程中溫度能夠確實達到要求，在實驗前先以熱傳分析軟體搭配實驗進行數值校正，以取得加熱機構的工作數據。

另外，為了確認實驗數據的正確性，實驗中同時採用數值模擬採用熱傳軟體 ICEPAK 來進行模擬分析，實驗採用的均溫板其熱傳導係在不同溫

度下的變化如圖 5.1；熱傳實驗部分，則是選用不同厚度的鋼板，在鋼板下方安裝加熱器及均溫板（均溫板的外觀與均溫板安裝於模仁上的方式如圖 5.2），並且以熱電偶(thermocouples) 記錄鋼板表面之時間-溫度曲線。

熱源為鑲入兩根加熱棒的 P20 鋼板，溫控器連接至加熱棒（如圖 5.3），加熱棒規格為直徑 14mm，功率 280 瓦；利用 210mmX90mm（厚度分別為 10mm 與 20mm）的 P20 鋼板來當作模仁，將均溫板固定於鋼板的下方，之後一同置於熱源上方。

溫控器設定熱源的溫度分別為為 110°C 與 130°C，實驗共為四組，分別是 10mm/110°C、10mm/130°C、20mm/110°C 和 20mm/130°C，由室溫開始加熱，量側位置如圖 5.4。假設射出成型開模頂出時之模穴表面溫度為 65 度，頂出後加熱機構開始加溫至射出成型充填製程結束中間經過時間為 60 秒，當鋼板加熱至 65 度時，利用熱電偶觀察其鋼板頂部表面在這 60 秒以內的溫度變化每隔 10 秒鐘記錄一次溫度，觀察 60 秒內模穴中心溫度可由 65°C 上升幾度，每組實驗分別作 5 次，將最高與最低的兩組數據刪除，留下 3 組數據。

由於模仁與均溫板、均溫板與熱源間的接觸熱阻無法得知，故利用實驗時量測得到的升溫曲線來反推接觸熱阻，利用此反推得到的接觸熱阻，模擬時帶入不同厚度的模仁觀察其升溫是否與實驗相符合，進行驗證。

圖 5.5 與圖 5.6 分別是未使用均溫板各點與使用均溫板各點的溫度曲

線，圖 5.5 顯示未使用均溫板時，模仁上各點其相同時間內溫度明顯差異非常大，60 秒時的溫度差距可由 O 點的 73.9°C 到 C 點的 34.7°C 看出其差異值；而 C 點 D 點的溫度幾乎僅上升至 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ ；反觀圖 5.6 中，各點溫度幾乎相當平均，除了距離中心較遠的 C 點之外，O 點、A 點、B 點、D 點升溫曲線幾乎是相當接近的，在最後 60 秒時也都有達到 80°C 左右的溫度，而距離較遠的 C 點也有 67.8°C 的溫度，比起未使用均溫板的 C 點只有 34.7°C 仍然高出許多，由這兩張圖比較可以得到，採用均溫板可在一定時間內讓限定的尺寸範圍內達到平均且較高的溫度。

圖 5.7 則是以 ICEPACK 執行模擬分析所得到的結果，分析設定加熱時間為 60 秒，加熱溫度為 130°C ，分別取 1 秒、20 秒、40 秒，以及 60 秒等四個時間點抓取模仁表面溫度分布圖。左側四張圖為未安裝均熱板時模仁表面的溫度分布變化，右側四張圖則是安裝均熱板後模仁表面的溫度分布變化。從模擬分析結果可發現，當加熱時間達到 20 秒時，安裝均熱板的模仁表面溫度分布已經明顯比未安裝均熱板之模仁溫度分布來的均勻；當加熱時間達到 60 秒時，安裝均熱板的模仁表面溫度在均熱板範圍下已經達到 100°C 以上；而未安裝均熱板的模仁表面溫度僅在加熱器上方能夠達到這樣的溫度。

從實驗結果與數值模擬結果得知，使用均溫板的效能比沒有使用均溫板的效能高出許多，均溫板確實能夠可以擴大傳熱的範圍與提昇傳熱的效

率，。

5.1.2 均溫板加熱冷卻機構實驗結果檢討

本實驗中的實驗試片的外型分為兩種，一種是標準的拉伸試驗片，主要目的在於檢查結合線強度在安裝該加熱/冷卻機構後的差異；另一種則是多圓孔試片，主要目的在於檢視塑件孔洞位置後方結合線的明顯度。

1. 拉伸試片實驗

拉伸試片的外型與拉伸試片的模具圖如圖 5.7，進澆方式有四種，分別為單邊澆口、雙邊澆口、雙邊澆口利用加熱機構加溫 and 傳統模溫機加溫 75 度四種，其中使用加熱機構加溫又分為熱源 110°C 與 130°C 兩種加熱溫度，相關射出成型參數如表 5.1 所示，完整試片如圖 5.8(a)、(b)。

實驗結果確認在單邊澆口的試片不會有結合線的產生，雙邊澆口的試片有明顯的結合線產生；使用加熱機構加溫 100°C 之後的試片，結合線有明顯改善，但是在光源照射下左右移動視角仍然可以看見有結合線的存在；將熱源調整至 130°C 時，結合線的情況大大改善，原本該有結合線的區域，以肉眼來看已經看不見線的形狀存在，只殘留一點點模糊的狀態。將成形試片進行拉伸測試，拉伸試驗力量與位移圖如圖 5.10。從結果得知，在模具加熱狀況下，試片的拉伸應力比未加熱的試片增加 6.8%[63]。主要的原因，應該在於加熱試片的結合線的位置，融熔塑料的融合區域較大，使得

高分子之間的鏈結力量較強，也使試片的強度增加。

2. 多圓孔試片實驗

第二部分實驗試片的規格及模具圖如圖 5.11，試片外觀如圖 5.12，相關射出成型參數及加熱條件如表 5.2 所示。將成形試片的結合線位置切割並且進行鑲埋，再以 SEM 觀察剖面位置。

在未進行加熱的狀況下，塑件成形後的結合線區域如圖 5.13 所示，可以看到明顯的 V 形缺口；而在加熱機構啟動後，結合線區域之痕跡放大圖則如圖 5.14，從圖中可以發現 V 形缺口幾乎完全消失。從深度上進行量測，結合線深度可從原始試片的 $12\mu\text{m}$ 減少至 $0.5\mu\text{m}$ [64]。這點與預期的結合相符合；由於加熱區域的塑料黏度降低，因此流動性較佳，形成的 V 形缺口會較小，甚至完全消失。



5.1.3 結論

從均溫板加熱機構的試片結果（包含拉伸試片的拉伸應力承受值改善以及圓孔試片的 V 形缺口深度改善），可確認採用均溫板之加熱冷卻機構確實可改善傳統射出成型製程之結合線缺陷。

5.2 應用模內旋轉機構消除結合線

本實驗主要是測試旋轉體在模具內是否能夠消除結合線痕跡，因此會針對不同的旋轉體外型以及轉速進行測試。實驗中採用了兩種不同的旋轉

體外型，而實驗試片的外型以及旋轉體的安裝位置則如圖 5.15。在研究中，採用了四種不同的材料進行測試，樣品如圖 5.16 所示。

另外，為了確認塑料在旋轉體運動下的充填狀況，實驗中還會以數值模擬軟體 FLOW-3D 進行數值驗證。

本研究所設計之旋轉機構安裝於模具內部，模具組立圖如圖 5.17，模具完成後組裝於實驗機台上之情形如附件一模具完成圖所示。圖 5.18 為模具安裝於射出成型機上的狀況(本實驗使用機台為震雄的 SM-150 射出成型機)。因為不同的實驗材料有不同的成形條件，列表如表 5.3 所示，不同旋轉體所形成的試片凹槽如圖 5.19。

5.2.1 模內旋轉機構實驗結果檢討

實驗中採用了兩種不同的轉速 (25 rad/sec 與 75 rad/sec) 進行測試，以下將針對兩種不同形式的旋轉體 (Type1 與 Type2) 進行結果說明[65]。

圖 5.20 為 Type1 旋轉體在低轉速 (25 rad/sec) 下結合線的照片圖，可以發現 PMMA 以及 PC 被扭轉的情形相當明顯；ABS 的結合線狀態則是有明顯因為扭轉而造成結合線的扭曲及斷裂分離的狀態；ASA 則因為本身的流動性質比較差，所以結合線只有稍微被扭轉，也沒有被扯斷的情形。

圖 5.21 則是高轉速 (75 rad/sec) 下結合線的照片圖。PMMA 以及 PC 結合線的狀態與低轉速的情況相當類似，依然是都有因為旋轉體產生紊流

而形成的流紋線生成，且都是 PC 比 PMMA 的情況嚴重；ABS 以及 ASA 的結合線情況與低轉速比較起來被扭轉破壞的情況則是明顯許多，ABS 的結合線甚至發生結合線被明顯扭曲，甚至發生結合線被扭斷的情形。

5.2.2 旋轉機構數值模擬分析

圖 5.22 為利用 Table Curve 3D 計算所得之黏度模型（藍色的點代表黏度數值）。將取得之參數輸入 FLOW-3D，並且建立相關之分析模型，就能夠以數值模擬的方式得知塑膠在通過旋轉體時的充填狀況[66]。

圖 5.23 則是利用數值模擬軟體 FLOW-3D 針對 Type3 旋轉體進行的數值驗證。數值模擬顯示融熔塑膠在通過旋轉體時，Type3 旋轉體在一開始接觸塑料時並無法將塑膠高分子流體有效牽引，而是先將塑料甩開；在旋轉後期會發生空穴效應，使得塑料無法完全填滿。即使填滿，空穴的位置填滿塑料後也會產生明顯的痕跡。

5.2.3 結論

根據實驗及分析結果，發現旋轉機構無法完全消除結合線痕跡；在三種旋轉體上，僅有 Type2 的旋轉體在低轉速（25 rad/sec）下針對 ASA 材料能夠有讓結合線模糊的效果。

5.3 利用模內沖模消除結合線

模內沖模是另一種消除結合線的方法，本實驗將測試不同的剪斷參數對於成形後的產品外型影響。實驗總共分為兩部分，第一部分是測試沖模機構設定參數對於加熱平板的剪斷效果，第二部分則是測試該機構在結合線問題的改善。

5.3.1 沖模機構的剪斷效果

由於模內沖模製程是在射出成形製程結束後接續執行，因此產品表面的溫度勢必會受到成形後的模具溫度以及冷卻時間長短所影響。為了了解高溫平板在沖模機構作動下之剪斷效果，實驗中設計了一組可針對加熱平板進行剪斷的沖模機構。沖模機構包含了氣壓缸、模具、底座、快速排氣閥、控溫機、電阻尺與空壓機，如圖 5.24 所示，動力來源為氣壓缸，氣壓缸規格為缸體內徑 200mm、行程 120mm，沖頭直徑為 10mm，模具部份為上下兩平板夾層，模具上下兩部份可放置加熱棒對放置上方之平板進行加熱，剪斷速度則以裝設快速排氣閥改變其快慢，圖 5.25 為安裝加熱棒後的測試模具照片。實驗參數包括了剪斷速度以及材料溫度，量測數值則是剪斷力。實驗試片則是 3.0mm 肉厚，50X50mm 之方形平板，材料則是分別採用 ABS、PC 以及 PMMA。其測試條件如表 5.4。

沖模機構實驗顯示[67]，上述三種材料的剪斷面在溫度較低或者剪斷速

度越快時，剪斷面的品質會越好（剪斷面的品質好壞以破斷面的比例大小為依據。當破斷面的比例越低時，表示剪斷面的品質越好），剪斷面越平滑、完整；而從尺寸上的差異來看，剪斷速度越快、溫度越低可達到尺寸差異較小的優良效果；圖 5.26 及圖 5.27 是 ABS 的剪斷面放大圖以及尺寸量測。

5.3.2 模內沖模機構實驗結果檢討

實驗的第二部分是直接設計一套可安裝於模具內部的模內沖模機構，模內沖模機構如圖 5.28 所示，成形條件如表 5.5。在射出成形機充填/保壓/冷卻階段，氣壓缸不做運動，此時安裝於孔洞位置的沖頭未凸出，模穴為一平板。冷卻結束時，氣壓缸作動，沖頭由模具可動側往固定側沖擊，將孔洞外型沖出；接著模具開啟，成品取出。

模內沖模實驗的試片外型則如圖 5.29，從成形結果中得知，對於材料 ABS 而言，冷卻時間越短有助於減少成品之收縮；從截面完整性考量，沖壓速度越快以及冷卻時間越長可使截面越平滑。圖 5.30 為 ABS 剪斷面之放大圖。

5.3.3 結論

模內沖模機構能夠將結合線完全消除，沒有塑料上的使用限制；但是在沖擊速度以及成形條件上必須加以調整，才能適用於各種材料上。

5.4 應用局部加熱機構消除結合線

局部加熱機構是針對嵌入成形製程所開發的模具改良設計，其重點在於讓嵌入件在塑料充填前能夠加熱至一指定的溫度，藉以改善結合線缺陷（包括外觀以及強度）。以下將以兩個不同產品，測試局部加熱機構對於嵌入成形件的結合線改善效果。

5.4.1 潛水用呼吸調節器及現有問題說明

潛水用呼吸調節器（regulator）是SCUBA（Self Contained Underwater Breathing Apparatus）Diving（一般稱為水肺潛水）中一項重要設備[68][69]。調節器分為兩部份（圖5.31），分別是一級頭（first stage）以及二級頭（second stage）（如圖5.32）。在潛水過程中，氣瓶內的壓力因為氣瓶的持續使用而隨之下降，一級頭的功用就是將氣瓶壓力（200 atm ~ 20 atm）輸出成穩定的壓力（9 atm），然後透過氣喉把空氣送到二級頭；此時二級頭會依據潛水員的吸氣動作，提供環境壓力的空氣供潛水者使用，二級頭也能夠依據不同的水深，提供等同於水深壓力的空氣，以減少潛水者肺部的負擔。

呼吸調節器必須與高壓管相連接，為了安全以及使用環境上的考量（使用環境為海水，產品必須考慮到耐腐蝕的要求），這類產品的連接位置是採用不鏽鋼製成的金屬接頭[70]。

調節器的成形採用嵌入成形製程，成形人員會先以人工的方式將已經

加工完成的金屬接頭放入模具內，再合模射出完成產品。

當產品成形後，品管人員會先以 95 lbf-in 的扭矩進行組裝測試，通過測試（施力後沒有發生破壞）的產品就可以包裝出貨；不過為了安全上的要求，某些國外廠商要求進行更高強度的測試；產品必須通過140 lbf-in 的扭矩測試（如圖5.33），而且沒有發生缺陷（例如扭曲或破壞）後，才能夠包裝出貨。

而廠商目前發生的問題，是這些通過測試的產品經由空運至美國後，部分產品卻在結合線的位置發生開裂（如圖5.34）。由於發生破裂的位置固定在結合線，因此猜測應該是結合線的結合強度不足，在運送過程中產品因為溫度差異造成殘留應力釋放，而產品就從強度最差的位置發生破裂。

根據之前的研究，調整模具溫度是改善結合線缺陷的最有效方法；在尚未修改模具前，成形人員先嘗試以人工方式將嵌入件加熱，放入模具後進行成形，發現成品的結合線痕跡較為不明顯。根據實驗結果，模具廠開始對模具進行修改，以測試嵌入件加熱的成形方法是否能夠徹底解決目前的問題。模具的修改方式則是參考中華民國新型專利M351142。

5.4.2 實驗步驟

為了確認產品的破壞原因，實驗中分為兩部分：在模具進行修改前先以數值分析軟體進行評估，再修改現有模具，於嵌入件位置安裝加熱機構。

數值模擬分析軟體採用 3D TIMON，分析採用的成形條件與成形材料如表 5.6。圖 5.35 為分析網格圖檔，圖 5.36 則是 3D 充填分析與結合線的形成圖。從流動波前圖中可以發現，當融熔塑料通過嵌入件位置時，塑料會合區產生結合線。3D TIMON 以結合線會合角 (weld meeting angle) 顯示結合線產生時塑料的會合角度 (當會合角度越大，結合線的強度會越強；當會合角越小，結合線的強度會越弱，一般以 135 度為標準，會合角大於 135 度稱為 melt line，會合角小於 135 度稱為 weld line)。與目前產品的破裂位置比較，可確定結合線的位置就是產品的破壞位置，因此判定產品破裂的原因很可能是因為結合線區域強度不足，當殘留應力釋放後造成產品局部發生破裂問題。

在確認結合線的發生位置後，開始進行模具修改。本實驗中的嵌入件 (金屬接頭) 採用不鏽鋼 (SUS303)，呼吸調節器本體則是採用 PC/ABS 材料。實驗將以修改完成的模具進行實際樣品生產。生產過程中對嵌入件設定了三組不同的溫度，再將新完成的樣品與舊的樣品按照相同的品管測試條件進行測試，得到製品破壞時的相關參數。呼吸調節器的成形條件如表 5.6，嵌入件加熱溫度如表 5.7。實驗模具安裝於射出機上的照片如圖 5.36~圖 5.39，成形品如圖 5.40。

由於產品並不是在成形後立即出現結合線位置破裂問題，因此實驗中加上了冷熱循環測試。測試流程如下：

1. 成形後，先以 140lbs-in 的扭矩施加於製品上，通過測試的產品先放至於室溫 16 小時。
2. 16 小時後，產品進行冷熱循環測試。冷熱循環測試時，先將產品放入 80°C 的熱水中 20 分鐘，再將產品放入 0°C 的冰水中 20 分鐘，重複上述動作五次。
3. 將完成冷熱循環測試的產品再以 140 lbs-in 的扭矩測試。

5.4.3 呼吸調節器實驗結果檢討

實驗中採用三組不同的嵌入件溫度，分別是室溫（25°C）、40，以及 90°C；實驗總共需要經過兩次 140lb-ft 扭矩測試，兩次都通過測試（未發生破裂）的產品才能確認為合格的產品。

為了測試嵌入件溫度對於產品強度的影響，實驗中採用了三組不同的嵌入件設定溫度，每一組溫度取 20 件樣品進行測試，測試結果如表 5.7。

從實驗結果可以得到下列結論：採用室溫的嵌入件，整體良率僅有 30%；將嵌入件加熱至 40°C，雖然在第一輪的扭矩測試中全數通過，但是在經過冷熱循環測試後，仍然有一半的樣品無法通過扭矩測試，整體良率僅有 50%；將嵌入件加熱至 90°C，則產品可全數通過測試。

實驗結果證明將嵌入件加熱後，的確可大幅改善產品的強度；而該模具改善機構也證明了可以解決類似的嵌入成形問題。

5.4.4 螺柱試片及現有問題說明

目前市面上的機車（速克達），全車的外觀件可分為四大類，分別是頭燈、前斜板、左右側板，以及與後尾燈相接的貨架。

由於這些外觀件的組裝必須考量到拆卸問題（因為維修時可能需要拆下），因此機構工程師在設計組裝時多半採用螺柱。螺柱的優點在於組裝成本低廉，能夠抵抗一定的震動力，可以承受多次的組裝與拆卸；但是螺柱設計的最大問題，在於底部與產品外觀相接的位置，往往因為肉厚問題而發生局部縮水現象，如果產品需要噴漆或電鍍，縮水的現象會更嚴重。

為了解決這個問題，廠商改用修改後的螺柱外型設計，以避免產品表面發生縮水問題。修改後的螺柱外型與傳統螺柱的最大不同，在於螺柱與底部肉厚相接的位置，由原本的圓柱直接相接，改成以肋相接。另外，在肋與底部相接處，還會做局部的肉厚調整，以減少日後產品表面發生縮水（如圖 5.41）。常用的螺柱修改後機構造型如圖 5.42 所示。

由於螺柱的本體零件還必須經過噴漆甚至是耐溫測試後，再進行鎖附；螺柱強度往往因為過程中之應力（射出成型、噴漆，以及耐溫測試等）而與原始設計有所誤差，因此廠商設計了如圖 5.43 的螺柱樣品，測試不同規格的螺柱承受扭矩的能力。

螺柱試片有三種高度，分別是 10mm、20mm，以及 30mm；三種螺柱造型，分別是 TypeA、TypeB，以及 TypeC（如圖 5.44）[71]其中 TypeA 與

TypeB 為目前使用的螺柱造型，TypeC 為傳統螺柱，主要是用來比對成形後的表面縮水現象。另外，螺柱試片的底板部分有兩種厚度，分別是 2.0mm 與 2.5mm。廠商在完成實驗試片製作後，可以利用扭力扳手轉入螺柱，記錄螺柱破壞時的扭矩大小，進而確認螺柱的設計規範是否合理。

螺柱的強度會影響設計人員決定螺柱的數量與位置，因此設計人員希望在不更改現有的產品與模具設計下，找出一種能夠提高螺柱強度的方法。由於螺柱破壞的位置多半位於下方肋與底板相接處（如圖 5.45 與圖 5.46），因此如何改善該處的強度就成為重點之一。

為了解決這個問題，研究中先以模流分析軟體找出螺柱破壞的可能原因。圖 5.47 是塑料在通過產品破壞區域時的充填狀況，從流動波前圖中可確認在肋與底板的相接位置，由於產品肉厚的突然變化，在該處會形成結合線（底部與肋相接的位置）。結合線的位置強度往往會出問題，再加上肋與底板相接的位置未了避免表面縮水而作了局部肉厚調整，使得該位置成為破壞時的第一個位置。

在產品外型以及模具機構都不變更的要求下，最簡單的方法既是將滑塊本體加熱，讓塑料在滑塊位置產生結合線時其結合力不會下降太多。因此參考中華民國新型專利 M351142 的方式，在滑塊上安裝了加熱棒，對滑塊進行溫度調整設定。

5.4.5 實驗步驟

螺柱試片模具的模具組立圖如圖 5.48，完成的模具圖如圖 5.49~圖 5.51。] 製作試片的射出成型機為全力發 250 噸之射出成型機 (CLF-250T)，如圖 5.52；成形條件如表 5.8；材料選用丙烯晴-丁二烯-苯乙烯三元共聚物 (ABS，料號：Toray Toyolac 100)，製作完成的樣品如圖 5.53；完成試片後必須以扭力扳手進行破壞測試，扭力扳手如圖 5.54，實驗試片則是以 C 型夾固定於桌面，如圖 5.55。

實驗採用兩組溫度設定。第一組設定採用室溫 (25°C)，加熱裝置不作動；第二組設定則是將滑塊溫度設定 60°C (與模具溫度相同)。之所以沒有設定較高的溫度，主要是怕滑塊因為溫度升高而造成體積膨脹，在運動過程中與滑塊的壓板與底部的耐磨板發生干涉現象。

在完成實驗試片後，將試片以 C 型夾固定於桌面，並且以扭力扳手轉入螺柱，並且記錄螺柱破壞時扭力扳手上顯示的扭矩大小。

5.4.6 螺柱試片實驗結果討論

為了取得較平均的數據，總共作了四十組實驗；由於有兩種肉厚 (2.0mm & 2.5mm)，加上兩組加熱溫度設定 (25°C & 60°C)，因此總共有一百六十個試片需要測試。表 5.9 為底部肉厚 2.0mm 的扭矩測試，表 5.10 為底部肉厚 2.5mm 的扭矩測試，每一個表中有四十組的扭矩測試結果，以及平均扭

矩大小，以下將分為三部分討論：

1. 底板厚度對於螺柱強度的影響

圖 5.56 是 TypeA 針對兩種不同厚度的底板進行的比較。圖中可發現 2.5mm 底板厚度的螺柱，強度會比 2.0mm 底板厚度來得大；根據實驗結果，強度大約增加 5%~10%。但是當螺柱高度為 30mm 時，強度增加的效果就沒有那麼明顯。

圖 5.57 則是 TypeB 針對兩種不同厚度的底板進行的比較。與 TypeA 相同，底板厚度越厚，螺柱的強度也越高（大約提昇 5%~20%）；TypeB 螺柱與 TypeA 螺柱最大的不同，在於螺柱高度的影響比較大。結果中顯示螺柱高度較高時，底板厚度提昇螺柱的強度效果更加明顯。

2. 螺柱外型對於螺柱強度的影響

圖 5.58 是 2.0mm 底板厚度的結果，圖 5.59 則是 2.5mm 底板厚度的結果。當底板厚度為 2.0mm 時，TypeA 與 TypeB 螺柱的強度均大幅增加（大約提昇 20%），而且越短的螺柱效果越明顯；底板厚度為 2.5mm 時，兩種類型的螺柱強度也是大幅增加。

3. 加熱機構對於螺柱強度的影響

圖 5.60 為 20mm 螺柱的結果，圖 5.61 則是 30mm 螺柱的結果。從實驗結果顯示，相同厚度底板，相同外型及高度的螺柱，當加熱機構運作時，20mm 的螺柱強度比未運作前大約可提昇 10%，30mm 的螺柱強度則是提昇

約 2%~5%。

5.4.7 結論

局部加熱機構證明了在嵌入成形製程中，能夠提高嵌入件的溫度，改善塑料在嵌入件位置造成的結合線強度降低；另外，由於局部加熱機構是以滑塊方式進行加熱，因此可以適用於安裝滑塊的模具。對於實驗中的螺柱試片而言，由於滑塊加熱的位置剛好是底板與肋相接形成結合線的位置，加熱滑塊能夠改善結合線區域的強度，提高螺柱承受扭力的大小。

5.5 應用熱處理消除殘留應力之實驗

本實驗將利用熱處理進行殘留應力實驗的應力消除，在完成實驗試片，再以光彈法量測並且計算其殘留應力。所有的實驗試片會量測兩次殘留應力，一次是熱處理前，一次是熱處理後。主要的目的在於掌握熱處理參數對於殘留應力大小的影響。

5.5.1 實驗步驟

本研究採用四種不同肉厚規格的實驗試片，成形材料為 PC，分別是 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm 以及 2.5mm。實驗試片規格如圖 5.62 所示，試片的成形條件如表 5.11。本研究包含了兩個實驗。實驗一在於確認熱處理的溫度上限，實驗二則是測試不同的熱處理時間對於殘留應力的影響。

為了得到量化的資料，必須量測實驗試片的殘留應力數值。本實驗採用光彈法觀測試片，照相紀錄試片於射出成型後之殘留應力分佈，並觀察記錄試片 x 軸、AB、CD 上各量測點之條紋級數 (fringe order) 與等傾角 (equal dip angle)，進而計算殘留應力大小。每一個實驗試片有六個量測點位置 (如圖 5.63 所示)。實驗流程如圖 5.64。

研究中分為兩個實驗，以下將分別說明兩個實驗的實驗步驟。

實驗一的目的在於確認熱處理溫度的上限，實驗方式則是以玻璃轉換點溫度以下 20°C 範圍的溫度內對試片進行加熱，再量測試片在加熱後的變形狀況。由於實驗材料之玻璃轉換點溫度為 150°C，因此測試溫度選定為 127°C、130°C、133°C。將試片放置於熱處理爐內加熱一小時，取出冷卻至室溫，再進行尺寸量測，選擇以不會使試片尺寸變形之最高溫度，作為往後熱處理之溫度上限。試片之翹曲量定義如圖 5.65。

實驗二則是測試不同的熱處理時間對於殘留應力的影響。實驗試片總共有四種厚度規格，在進行實驗前先對四種規格的試片進行光彈法量測原始的殘留應力值，然後再進行實驗。實驗二中針對每一種厚度的試片施以六種不同的熱處理時間，加熱結束後將試片放置於熱處理爐內冷卻三小時，再從爐內取出冷卻至室溫，然後再以光彈法量測計算試片在經過熱處理實驗後之等效應力變化；實驗二的目的在於確認不同厚度的試片在不同的熱處理時間下其殘留應力的降低效果。

5.5.2 殘留應力實驗結果檢討

實驗一主要是要確認熱處理的溫度。在以不同的熱處理溫度進行加熱/冷卻後，試片的量測變形量大小如表 5.12，從實驗一中可以確認，在本實驗中，熱處理溫度的上限為 130°C（溫度再高的話試片會發生嚴重變形）。

實驗二則是測試熱處理時間對於殘留應力的影響。實驗試片上有六個量測點，將六個點的殘留應力降低值繪製成曲線圖，圖 5.66~圖 5.71 為 1.0mm 的試片，在不同的熱處理時間條件下，六個量測位置在熱處理前後的殘留應力變化值。

利用相同的方法，計算出四種厚度試片在六個不同的熱處理條件下其應力變化，以熱處理時間為 X 軸，殘留應力降低比值為 Y 軸，繪製出如圖 5.72 之熱處理時間與等效應力降低百分比之關係。圖 5.73 為 X 軸取 0~100 分鐘時之局部放大圖。從圖 5.73 及圖 5.74 中可觀察得知，殘留應力的降低狀況大約可以分為兩個階段。第一階段是在試片在熱處理 30 分鐘左右。第一階段的等效應力降低的效果相當明顯，四種厚度的降低效果分別是 7.3% (1.0mm)，12.55% (1.5mm)，18.05% (2.0mm)，以及 19.2% (2.5mm)。
[65]根據這部份結果可以得知，相同時間內，試片的厚度越大，應用熱處理消除殘留應力的效果越明顯。

當熱處理時間超過 30 分鐘，雖然殘留應力仍然可以降低，但是降低效

果就不如第一階段。三種厚度試片的殘留應力例降低效果分別是 3.2% (1.0mm)，5.85% (1.5mm) 以及 11.15% (2.0mm)，僅有厚度 2.5mm 試片其殘留應力仍然繼續降低 14.3%。雖然殘留應力仍然會降低，但是降低的比例明顯沒有第一階段來的大。從上述結果中可以得知，試片厚度越薄，所需要的熱處理時間越短。當試片的殘留應力釋放到一定程度後，繼續拉長熱處理時間並沒有意義（因為殘留應力降低有限）。

如果以 1440 分鐘減少的殘留應力值為該試片能夠減少之最大殘留應力，將前述資料改以整體殘留應力降低的百分比顯示可以得到更明顯的資料。第一階段（熱處理 30 分鐘之內），四種厚度降低的百分比分別是 70% (1.0mm 試片)，68% (1.5mm)，62% (2.0mm)，以及 57% (2.5mm)。這顯示在 2.5mm 以下之 PC 實驗試片，在熱處理 30 分鐘內就可以減少超過 50% 以上的殘留應力。

5.4.8 結論

根據熱處理實驗結果，可以歸納出下列幾點結論。

1. 肉厚對於熱處理降低殘留應力的效果影響極大。越薄的試片所需的熱處理時間越短。
2. PC 材料在熱處理時，殘留應力降低效果隨著時間增加而遞減。
3. PC 材料以熱處理方式降低殘留應力，具有降低之極限，達到此極限後

再予以熱處理並無法再次降低殘留應力。

4. 對於肉厚在 2.5mm 以下之 PC 實驗試片，30 分鐘的熱處理時間已經足可減少 50%以上之殘留應力。



表 5.1 拉伸試片成形條件

Molding condition	
Material temperature (°C)	230
Filling time (sec.)	2
Packing time (sec.)	3
Packing pressure (MPa)	50
Cooling time (sec.)	10

表 5.2 多圓孔試片成形條件與加熱條件

Molding condition				
Material temperature (°C)		230		
Filling time (sec.)		6		
Packing time (stage 1) (sec.)		2		
Packing time (stage 2) (sec.)		4		
Packing pressure (stage 1) (MPa)		20		
Packing pressure (stage 2) (MPa)		70		
Cooling time (sec.)		20 sec.		
Heating temperature (°C)	Cavity	60	130	130
	Core	60	60	110

表 5.3 模內旋轉模具成形條件

Material	ABS、ASA、 PMMA	PC
Material temperature (°C)	250	320
Filling time (sec.)	12	12
Packing time (stage 1) (sec.)	2	2
Packing time (stage 2) (sec.)	4	4
Packing pressure (stage 1) (MPa)	20	20
Packing pressure (stage 2) (MPa)	70	70
Cooling time (sec.)	20	20

表 5.4 剪斷試驗實驗條件

Material	ABS、PMMA、PC
Test part thickness (mm)	3.0
Punch diameter (mm)	10.0
Punch speed (mm/s)	75.0、150.0
Gap between the punch and the hole (mm)	0.02
Test part temperature (°C)	20、40、60、80
Test part dimension (mm ²)	50 x 50

表 5.5 模內沖模成形條件

Material	ABS	PMMA	PC
Material temperature (°C)	250	250	320
Filling time (sec.)	12		
Packing time (stage 1) (sec.)	2		
Packing time (stage 2) (sec.)	4		
Packing pressure (stage 1) (% of the filling pressure)	20		
Packing pressure (stage 2) (% of the filling pressure)	70		
Cooling time (sec.)	10、15、20、25		
Punch pressure (kg/cm ²)	95		
Punch speed (mm/s)	350、595		

表 5.6 呼吸調節器成形條件

Material temperature (°C)	270
Mold temperature (°C)	80
Filling time (sec.)	1.2
Packing time (sec.)	10
Packing pressure (MPa)	60
Cooling time (sec.)	30

表 5.7 三種不同的嵌入件溫度測試後的良率比對

Insert temperure (°C)	25	40	90
Quantity of the parts (Passed 1 st torque test)	18	20	20
Quantity of the parts (Passed 2 nd torque test)	6	10	20
Yield	30%	50%	100%

表 5.8 螺柱試片成形條件

Material temperature (°C)	230
Mold temperature (°C)	60
Filling time (sec.)	2.2
Packing time (sec.)	5
Packing pressure (MPa)	40
Cooling time (sec.)	20

表 5.9 扭力實驗結果 (底板厚度 2.0mm) (單位: kgf-cm)

thickness 2.0mm	Slider temperature =25°C				Slider temperature = 60°C			
	TypeA 20mm	TypeA 30mm	TypeB 20mm	TypeB 30mm	TypeA 20mm	TypeA 30mm	TypeB 20mm	TypeB 30mm
1	24.63	22.85	39.45	34.07	25.78	25.56	41.90	35.51
2	25.25	23	39.65	34.92	25.97	25.53	40.54	36.20
3	24.12	22.8	39.73	34.09	26.62	25.45	40.47	36.56
4	24.25	20.08	39.98	34.91	25.33	23.40	40.42	37.48
5	24.43	23.75	40.59	35.06	25.59	25.75	40.56	36.43
6	25.47	20.28	43.6	33.73	25.36	26.45	41.11	35.88
7	24.6	24.02	39.73	33.8	27.09	25.27	41.29	35.43
8	25.8	23.6	40.02	34.73	27.78	25.83	41.52	36.29
9	24.25	23.08	39.68	33.7	26.53	24.89	40.63	35.80
10	24.35	21.33	39.85	33.85	26.68	26.77	40.84	36.71
11	24.12	23.38	40.07	34.7	26.87	26.43	40.92	36.82
12	24.59	24.14	40.68	33.73	28.02	25.85	41.18	37.70
13	25.21	23.15	39.36	35.07	27.06	23.89	41.81	37.86
14	24.81	20.3	39.68	33.73	28.38	26.19	44.91	35.00
15	25.33	24	39.45	33.6	26.68	27.04	40.92	36.50
16	24.23	22.97	40.43	33.75	26.79	25.93	41.22	37.09
17	24.43	21.01	39.81	34.6	26.05	22.74	40.87	37.31
18	24.04	22.15	40.01	34.75	26.56	25.59	41.05	37.42
19	24.41	21.86	40.23	33.1	24.99	25.76	41.27	36.96
20	24.67	22.9	40.81	34.9	28.88	25.54	40.24	38.06
21	24.85	22.95	39.35	33.57	25.65	22.49	41.24	36.26
22	25.12	23.1	40.24	33.72	25.86	26.60	40.61	36.43
23	23.8	23.8	40.85	34.5	25.78	22.71	42.15	37.69
24	27.5	22.65	39.63	34.72	25.76	26.90	41.38	36.00
25	24.43	22.9	39.76	33.72	27.23	26.88	41.50	37.40
26	24.63	23.05	39.53	33.92	26.79	25.73	41.72	35.85
27	24.55	23.3	39.7	34.33	27.36	23.53	42.36	36.20
28	24.53	23.88	39.92	33.91	26.17	24.81	41.09	36.94
29	25.15	22.73	40.53	34.92	26.38	24.48	41.44	39.02
30	23.92	22.88	39.79	33.27	25.96	25.65	42.12	35.72

31	24.32	23.03	39.9	33.42	26.36	25.47	37.65	36.20
32	24.3	23	40.12	34.58	26.64	25.64	40.88	38.06
33	25.05	22.93	40.73	35.8	26.84	26.42	41.56	38.23
34	24.32	21.08	39.51	32.77	27.13	25.14	42.20	35.41
35	24.55	23.2	39.85	34.85	26.41	25.42	40.81	38.09
36	24.73	23.83	40.5	33.2	25.12	25.59	41.03	36.93
37	25.35	22.77	36.2	34.77	25.54	25.86	41.63	37.09
38	24.12	23.27	39.31	33.81	25.52	26.51	40.14	37.95
39	24.37	22.42	39.96	34.66	26.30	25.23	41.04	38.19
40	24.15	24.12	40.58	34.81	25.54	25.40	41.67	32.99
Max.	24.63	24.12	40.58	34.81	25.78	25.56	41.9	35.51
Min.	24.15	22.85	39.45	34.07	25.54	25.4	41.67	32.99
Average	24.67	22.79	39.97	34.20	26.43	25.41	41.20	36.74
Standard deviation	0.65	1.04	0.94	0.67	0.88	1.15	0.99	1.12

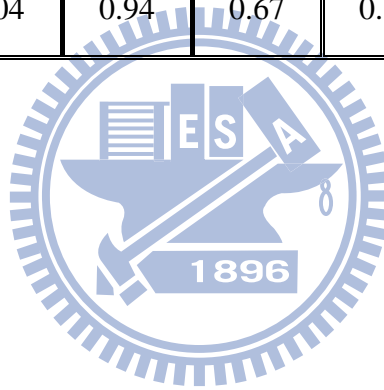


表 5.10 扭力實驗結果 (底板厚度 2.5mm) (單位 : kgf-cm)

Thickness 2.5mm	Slider temperature = 25°C				Slider temperature = 60°C			
	TypeA 20mm	TypeA 30mm	TypeB 20mm	TypeB 30mm	TypeA 20mm	TypeA 30mm	TypeB 20mm	TypeB 30mm
1	27.06	24.36	41.90	41.68	31.10	26.03	44.67	44.28
2	28.27	25.13	42.08	41.88	29.19	26.20	44.78	44.14
3	26.53	23.91	42.38	40.28	29.43	26.00	45.42	43.76
4	26.75	24.07	43.03	40.46	29.46	23.90	43.85	43.97
5	26.79	21.11	42.42	41.76	29.71	26.90	42.96	42.30
6	27.01	24.96	38.37	42.08	28.81	25.01	44.43	45.26
7	27.20	21.42	46.11	40.10	29.02	25.17	43.43	45.45
8	27.63	25.10	42.11	40.57	28.87	22.16	44.57	43.29
9	26.18	23.89	41.77	41.59	29.84	26.21	44.31	44.56
10	30.25	24.05	42.01	41.77	28.27	25.60	44.00	45.68
11	27.56	24.20	41.76	40.32	32.67	24.90	44.19	45.71
12	26.85	24.91	42.86	40.50	29.76	26.59	44.64	43.56
13	27.05	24.23	42.20	40.56	29.77	25.32	44.83	44.08
14	27.73	22.29	41.87	40.74	29.34	25.33	45.08	43.86
15	27.14	24.55	42.08	41.52	29.58	26.10	44.53	42.34
16	27.34	25.24	42.29	41.46	29.80	24.84	45.61	42.53
17	28.02	24.31	42.93	41.16	30.55	25.01	44.97	44.21
18	26.57	21.32	42.01	40.66	28.54	25.17	43.45	44.41
19	27.89	23.54	42.19	40.87	29.92	25.10	44.53	42.49
20	26.53	25.33	42.42	41.86	30.67	25.27	45.22	43.85
21	26.68	24.12	43.07	42.04	29.19	27.26	44.92	44.19
22	26.90	22.06	42.41	40.44	30.29	26.25	44.17	42.11
23	27.09	23.27	43.07	40.62	31.38	23.02	44.04	42.60
24	27.78	22.95	42.65	41.64	29.75	27.22	42.72	42.90
25	26.42	24.15	43.30	41.82	30.00	25.91	44.34	42.99
26	26.68	24.05	42.01	39.84	30.22	26.08	43.69	43.88
27	26.87	24.20	42.15	40.44	29.85	25.12	43.54	43.10
28	26.73	24.36	42.32	41.70	29.02	23.16	43.77	43.32
29	26.87	25.20	42.41	39.72	30.10	24.43	43.99	44.37
30	27.09	23.99	42.64	40.88	30.00	24.10	44.65	44.56

31	27.29	24.15	43.26	41.90	30.07	25.58	44.79	43.67
32	27.97	24.10	41.76	41.94	30.62	26.38	45.47	42.23
33	26.65	24.26	42.23	39.96	29.26	25.90	44.53	42.87
34	26.87	24.08	42.29	40.48	29.47	25.20	44.79	43.95
35	26.79	22.13	42.53	40.56	30.21	23.18	45.54	43.63
36	26.79	24.99	42.96	41.40	28.49	25.53	43.69	44.58
37	26.98	23.78	41.67	41.66	27.10	22.49	43.88	45.97
38	27.67	23.94	43.17	42.96	27.46	24.72	44.12	42.12
39	26.31	24.43	41.88	39.36	31.06	25.41	40.67	43.40
40	26.66	25.31	42.11	40.56	30.39	26.32	48.88	44.33
Max.	27.06	25.31	42.11	41.68	31.10	26.32	48.88	44.33
Min.	26.66	24.36	41.90	40.56	30.39	26.03	44.67	44.28
Average	27.14	23.94	42.37	41.04	29.71	25.25	44.39	43.76
Standard deviation	0.28	0.67	0.15	0.79	0.50	0.21	2.98	0.04

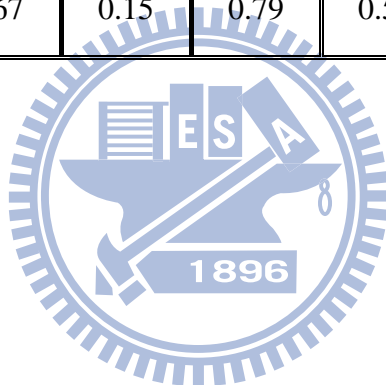


表 5.11 殘留應力試片成形條件

(震雄 100T 射出成型機)

Melt temperature (°C)	T1	T2	T3	T4
	310	310	300	250
Pressure limit (% of machine)	P1	P2	P3	
	90	95	50	
Filling time (sec)	T1	T2	T3	
	40	90	15	
Screw position (mm)	S1	S2	S3	
	76	50	80	
Packing pressure (% of machine)	P1	P2	P3	
	30	40	100	
Cooling time (sec.)	9			

表 5.12 殘留應力試片在加熱後的變形量量測

	Warpage value (mm)
Without heat treatment	1.11
Heat to 130°C for 1 hour	1.11
Heat to 133°C for 1 hour	1.18
Heat to 138°C for 1 hour	1.28

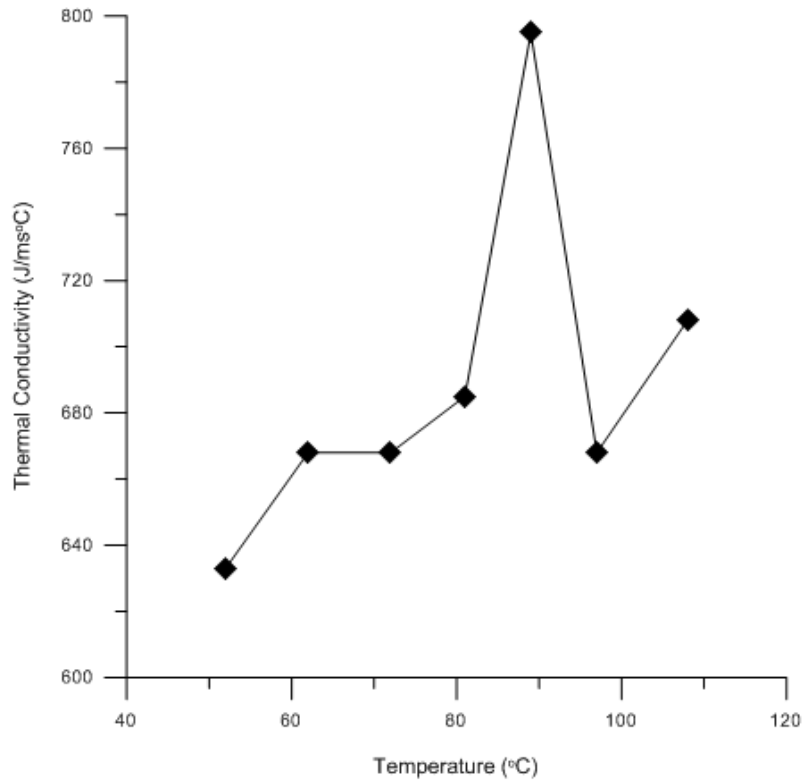


圖 5.1 實驗採用之均溫板其熱傳導係數與溫度之關係



圖 5.2 均溫板外觀以及安裝於模仁上的狀況

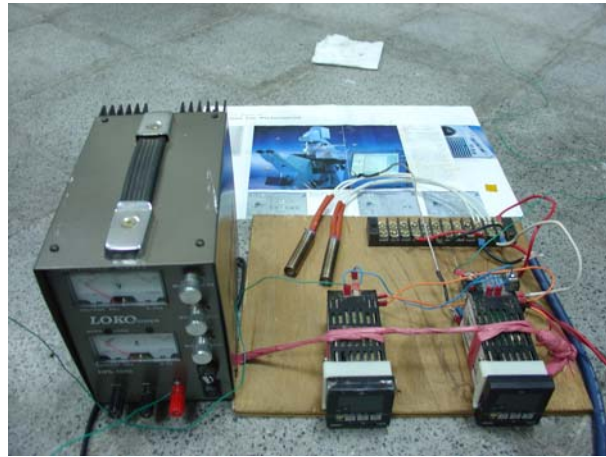
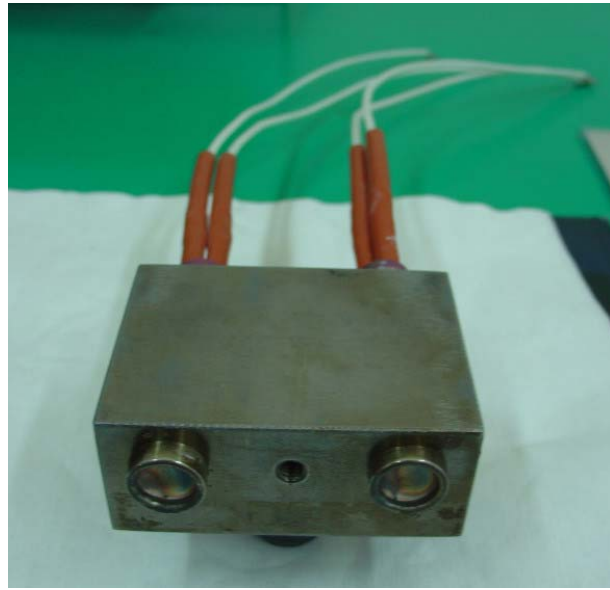


圖 5.3 加熱棒與溫控設備

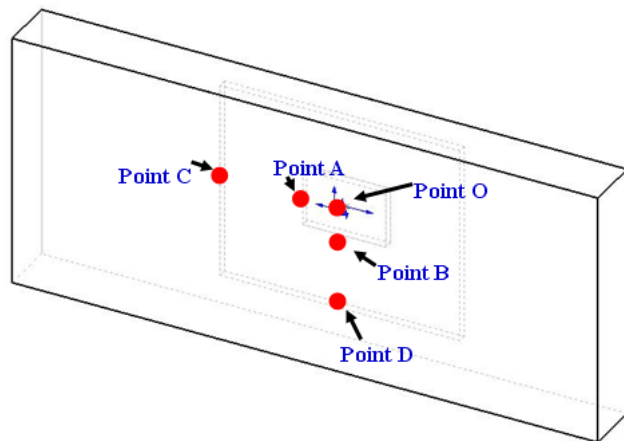


圖 5.4 模仁上溫度量測點位置標示

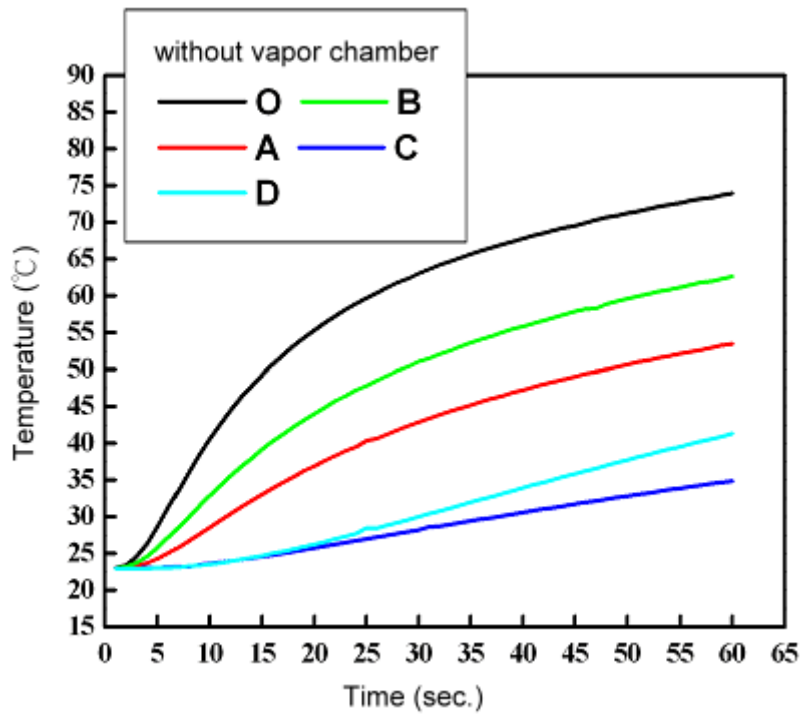


圖 5.5 模仁材料在未使用均溫板時之各點溫度變化曲線

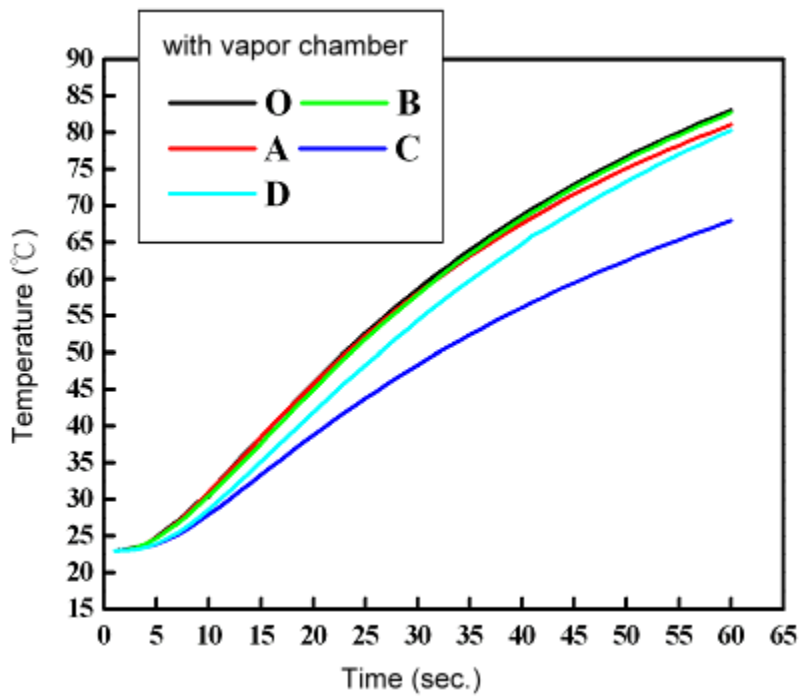


圖 5.6 模仁材料在使用均溫板時之各點溫度變化曲線

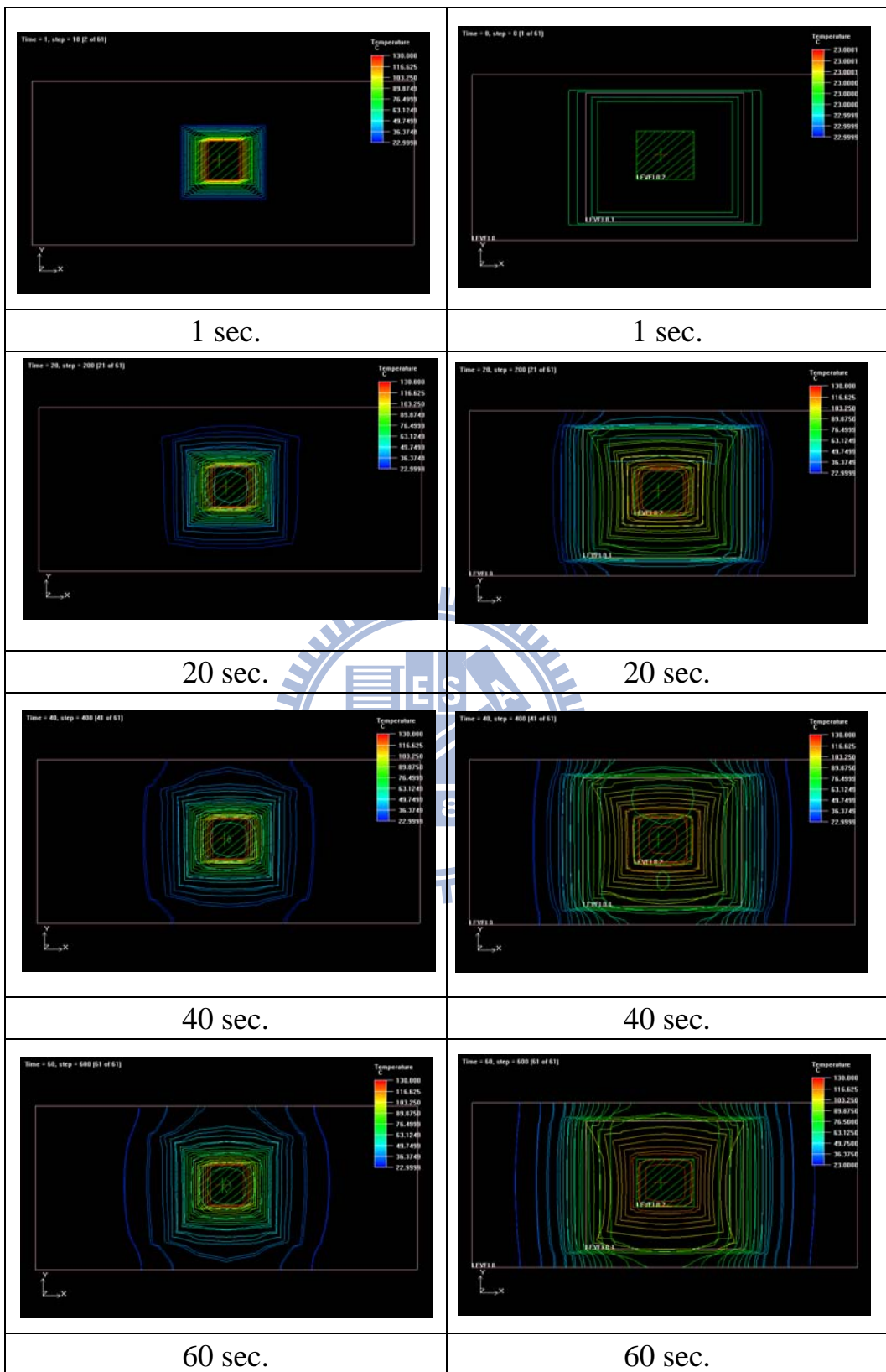


圖 5.7 ICEPACK 模擬結果 (左側：未安裝均熱板/右側：安裝均熱板)

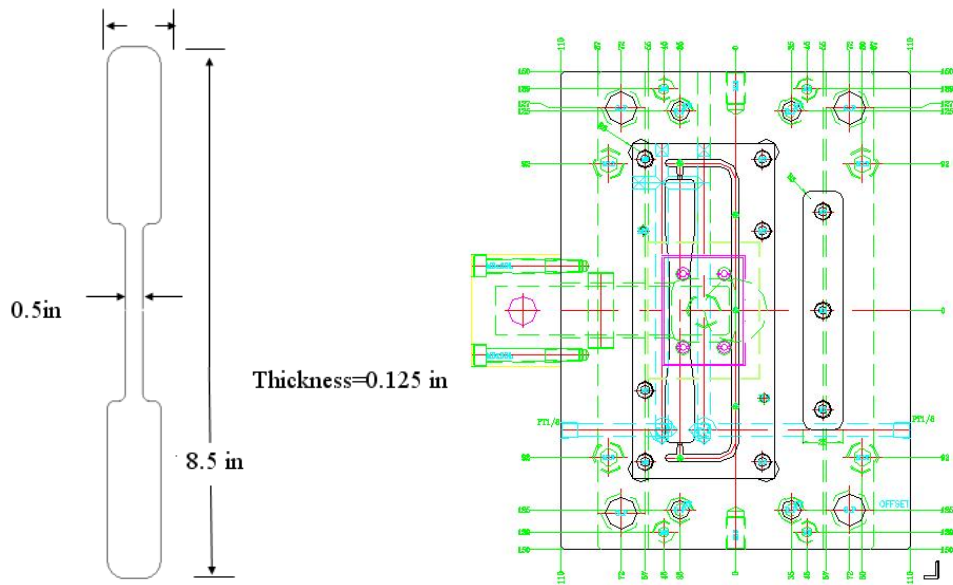
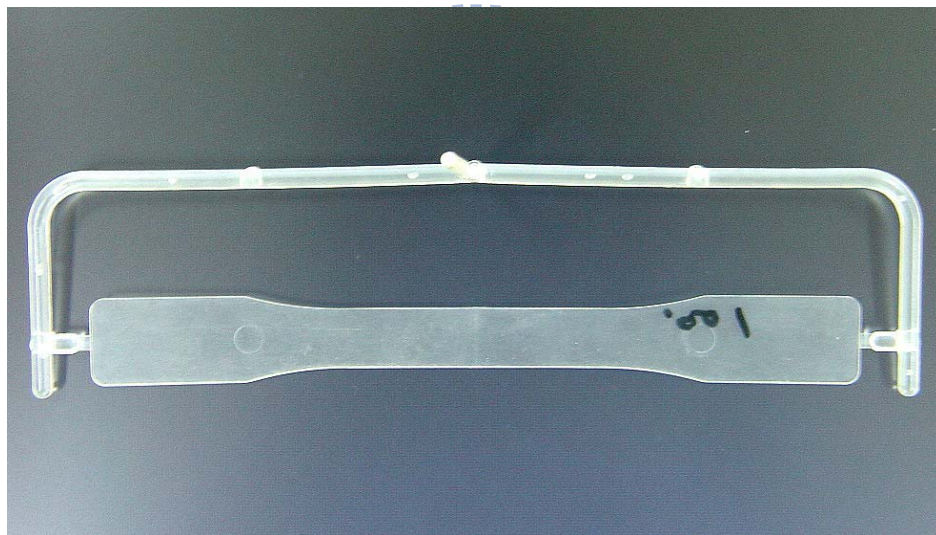


圖 5.8 拉伸試片產品規格與模具圖



(a)



(b)

圖 5.9 拉伸試片成品 (a) 拉伸試片含澆道 (b) 拉伸試片

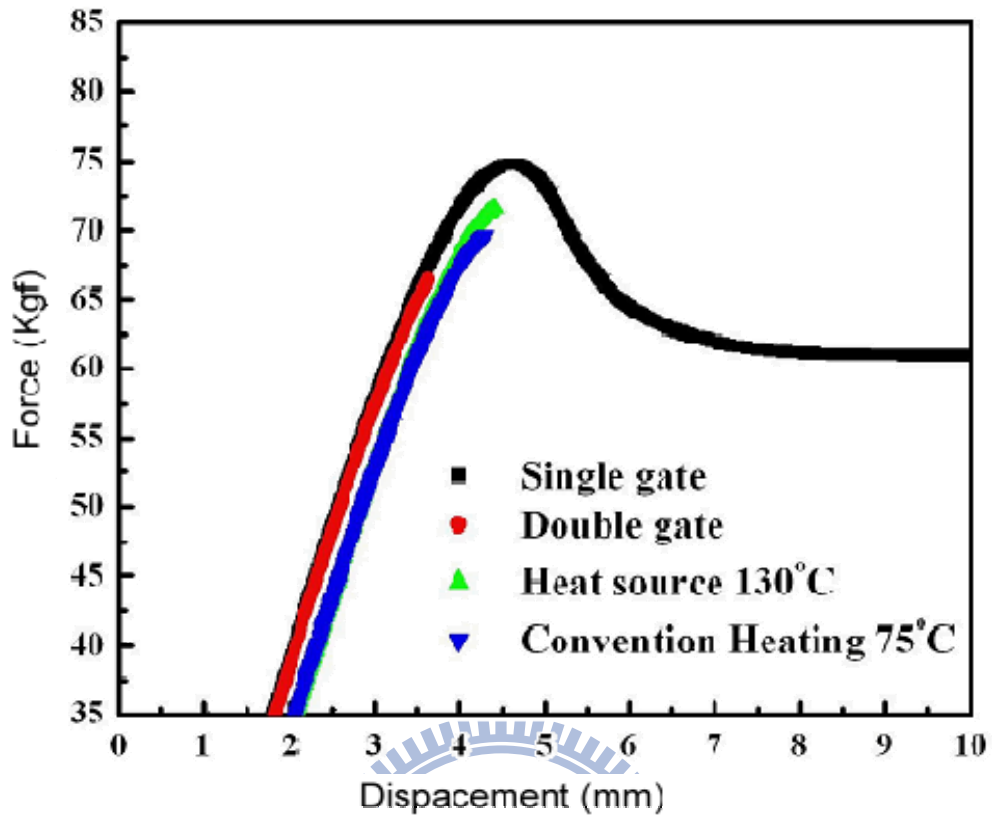


圖 5.10 拉伸試片之拉伸試驗力量-位移關係圖

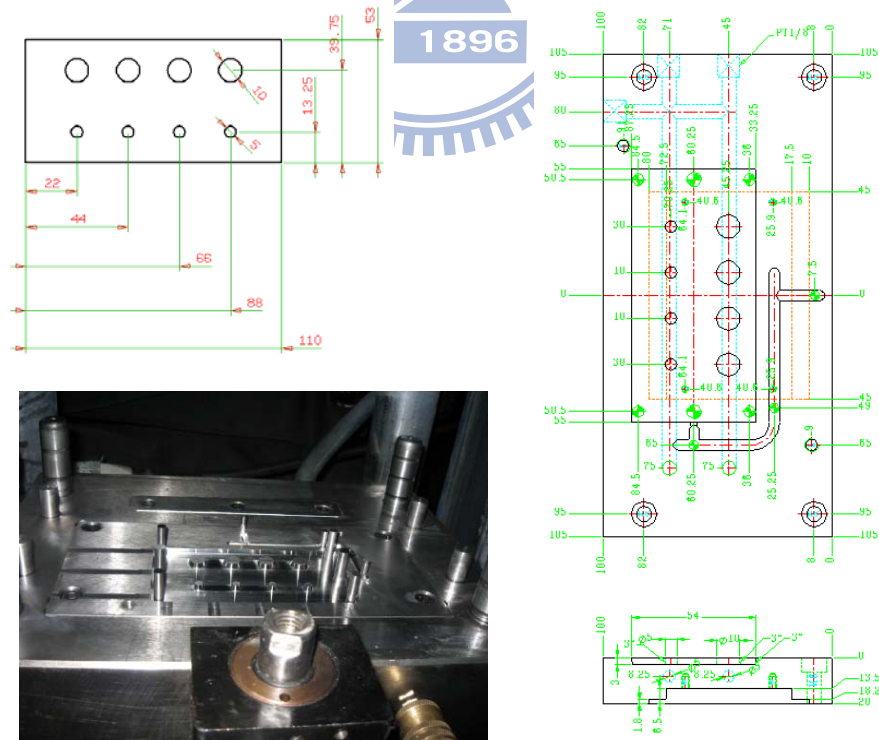


圖 5.11、多圓孔試片規格及模具圖面

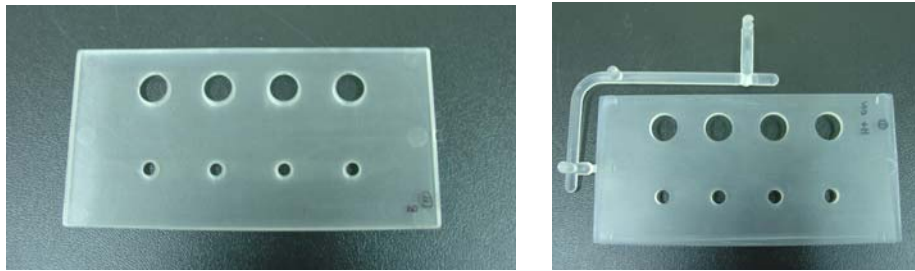


圖 5.12、多圓孔試片（含流道）

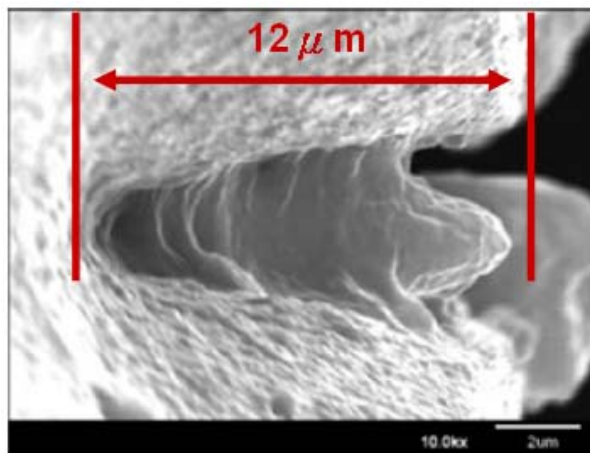


圖 5.13、未加熱試片於結合線位置之 SEM 照片

（母模仁: 60°C / 公模仁: 60°C）

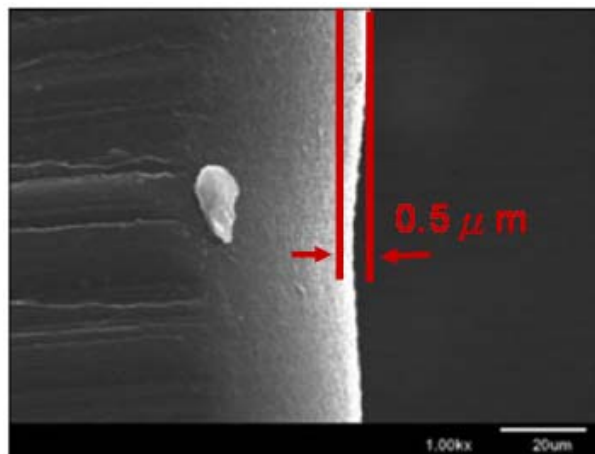


圖 5.14、加熱試片於結合線位置之 SEM 照片

（母模仁: 130°C / 公模仁: 110°C）

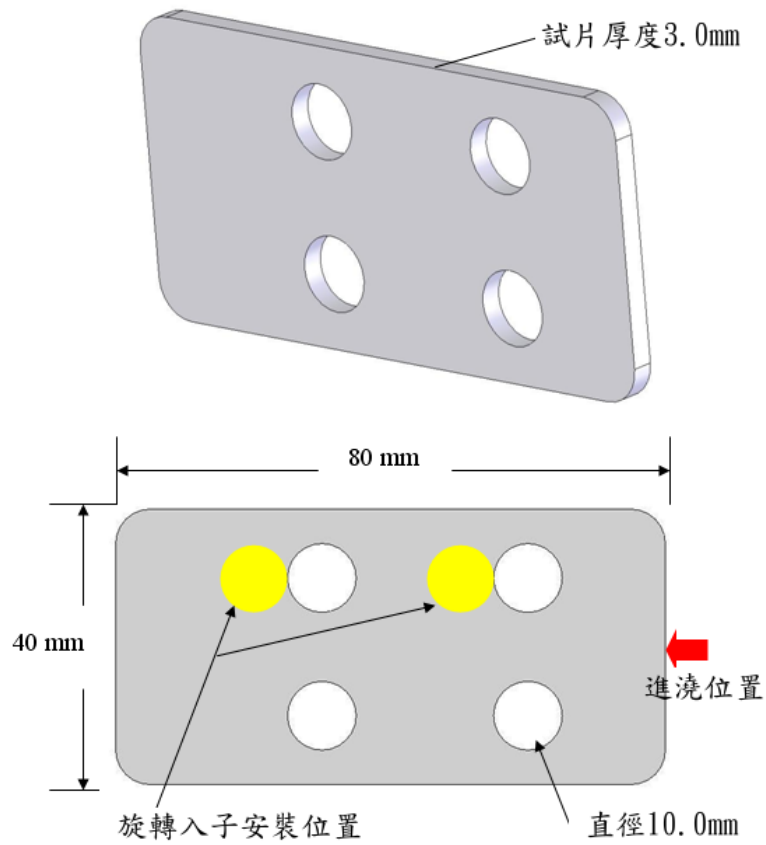


圖 5-15 模內旋轉實驗試片外型與旋轉體安裝位置

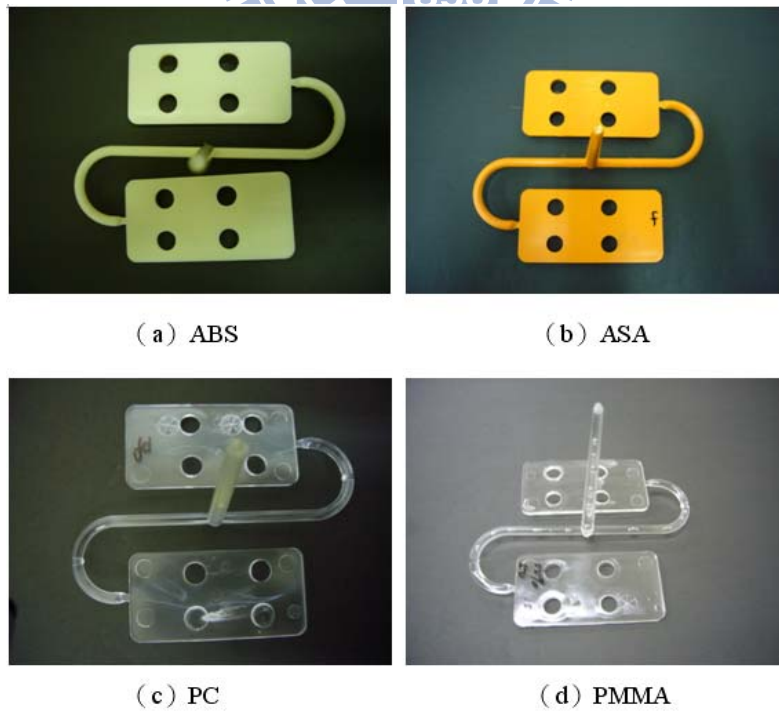
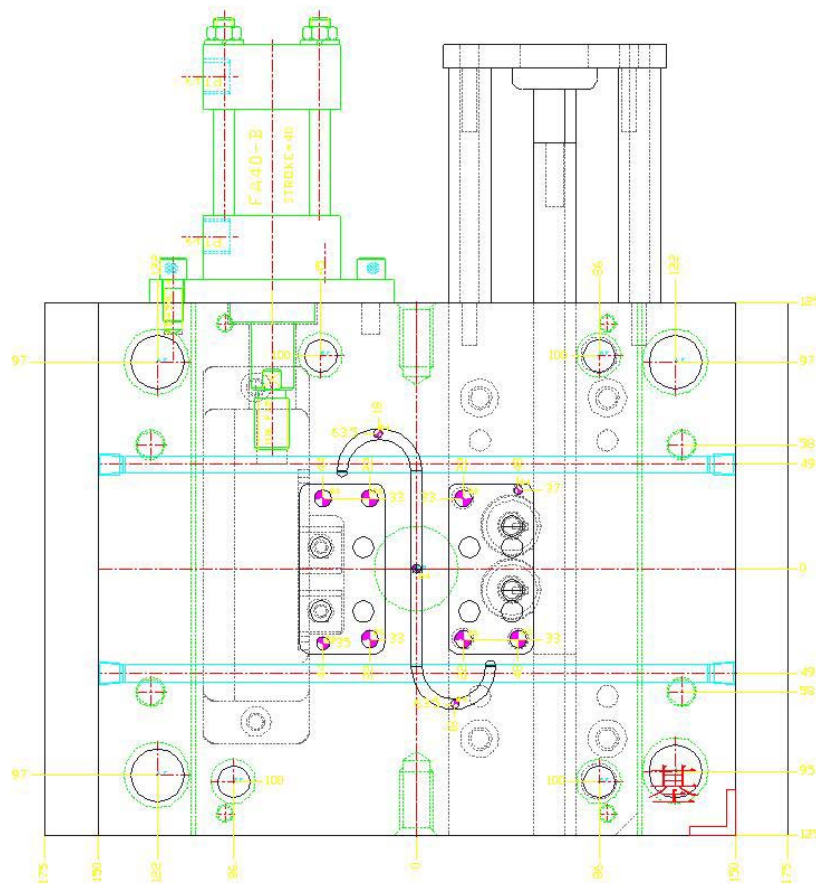
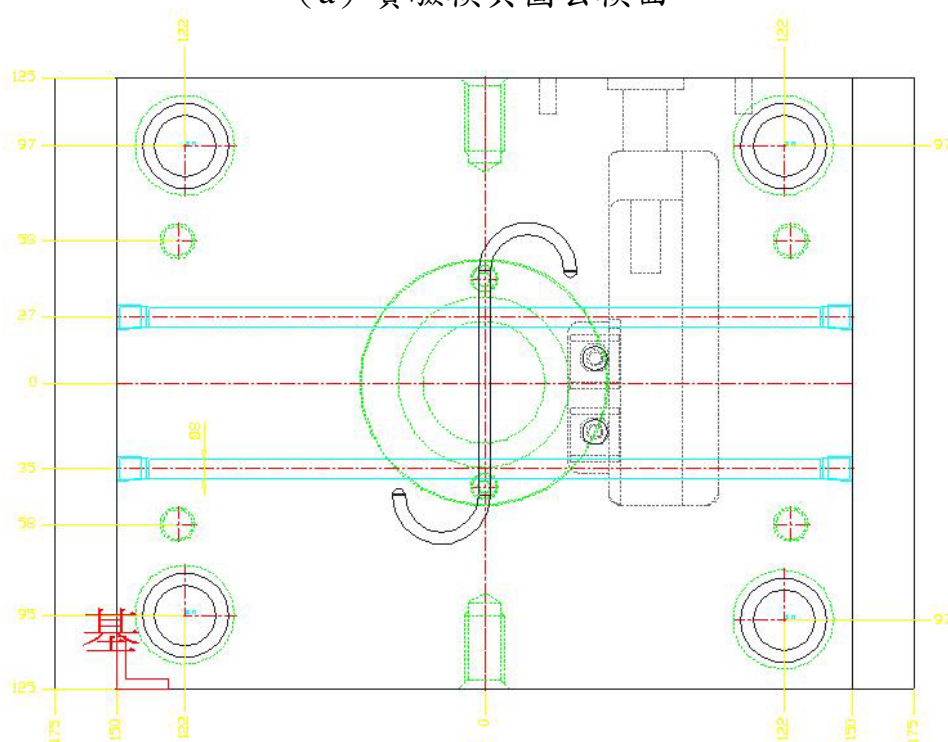


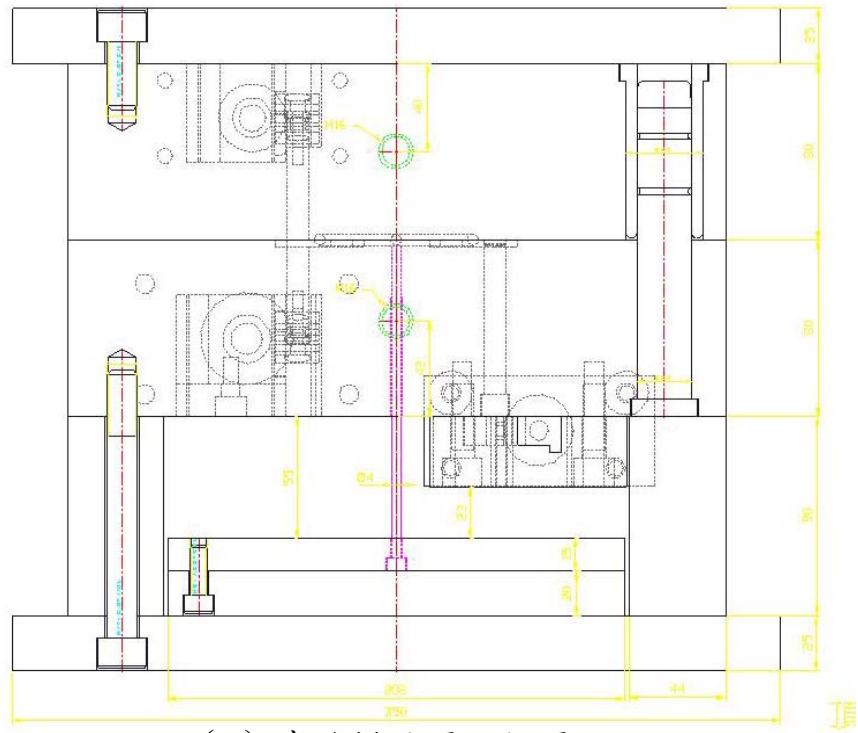
圖 5.16 模內旋轉實驗四種材料製作而成的實驗試片



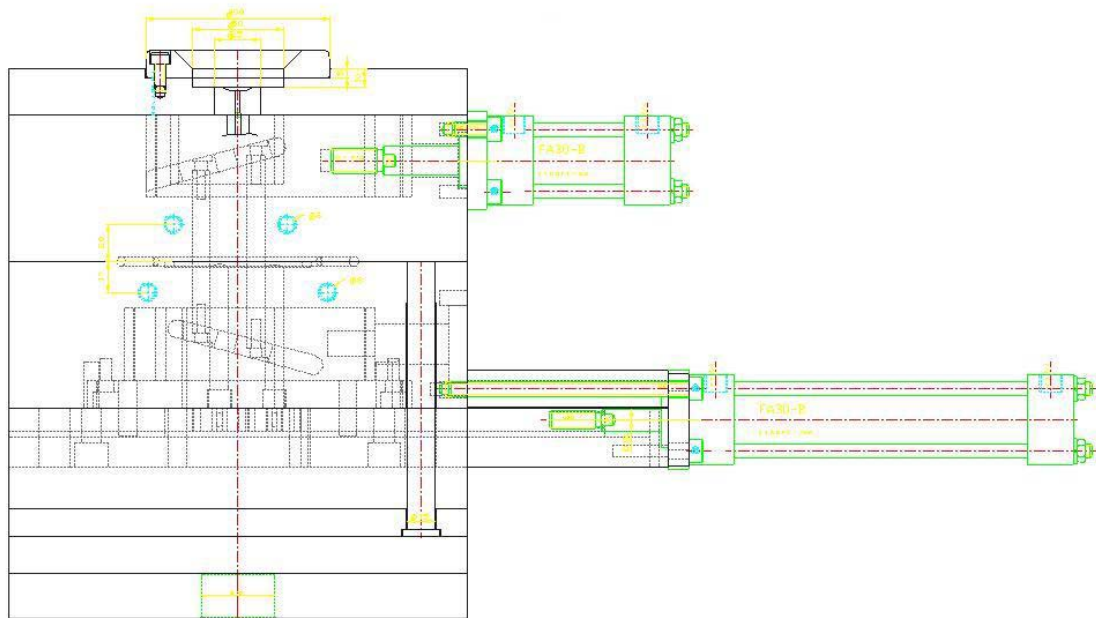
(a) 實驗模具圖公模面



(b) 實驗模具圖母模面



(c) 實驗模具圖上視圖

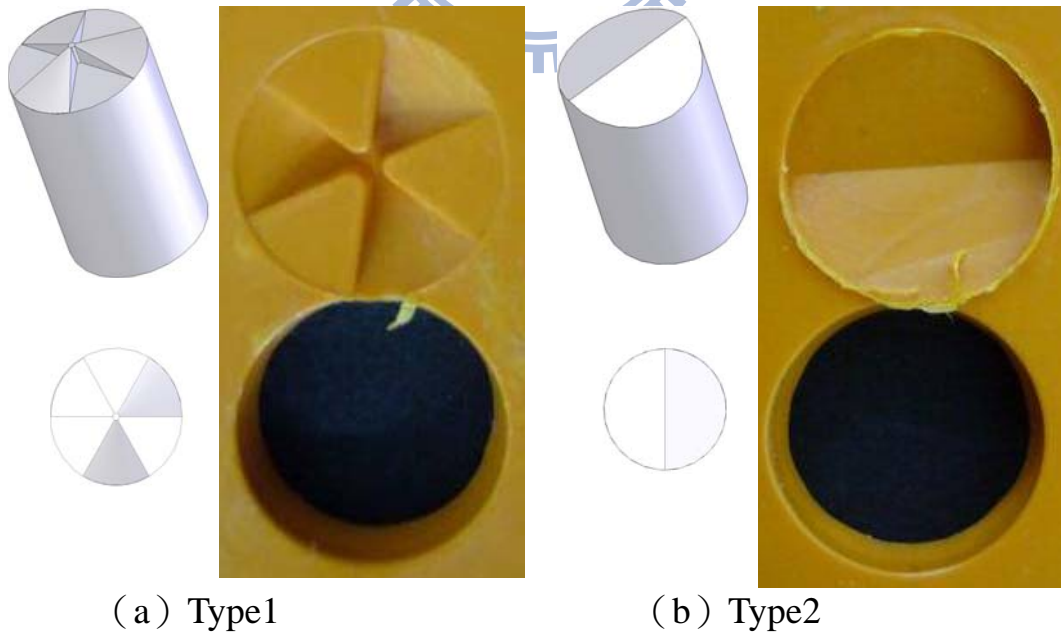


(d) 實驗模具側視圖

圖 5.17 模內旋轉模具組立圖



圖 5.18 安裝於射出成形機上之模內旋轉模具



(a) Type1

(b) Type2

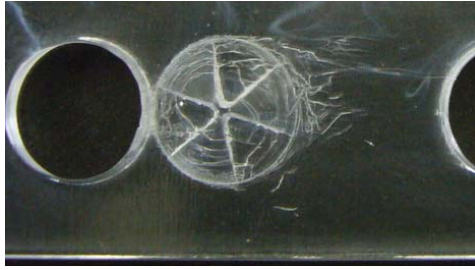
圖 5.19 不同旋轉體形狀所造成的凹槽



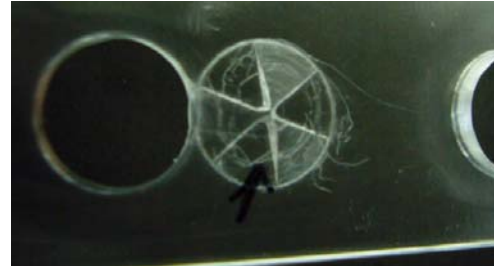
(a) ABS



(b) ASA



(c) PC



(d) PMMA

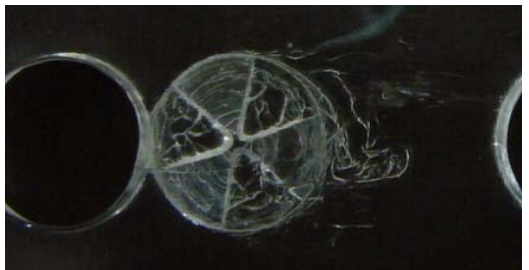
圖 5.20 旋轉系統低轉速 (25 rad/sec) 下各材料所形成的結合線



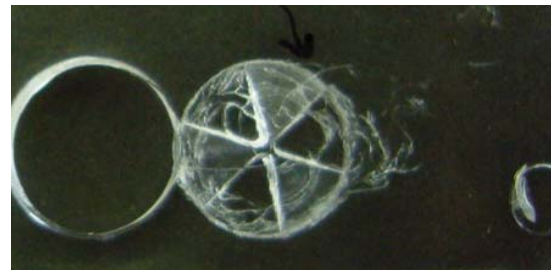
(a) ABS



(b) ASA



(c) PC



(d) PMMA

圖 5.21 旋轉系統高轉速 (75 rad/sec) 下各材料所形成的結合線

Viscosity of GE Plastic LEXEN 141

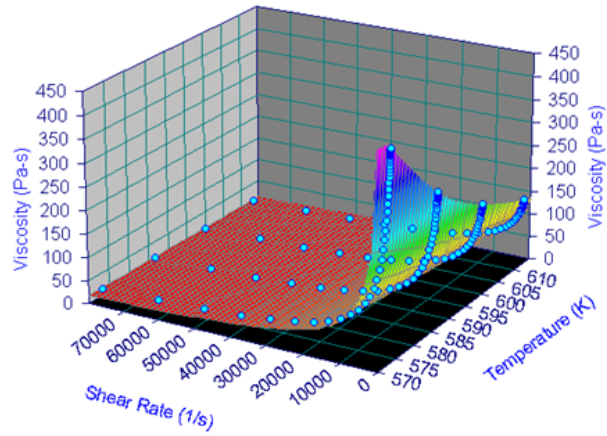


圖 5.22 利用 Table Curve3D 之 curve fitting 功能取得的黏度模型

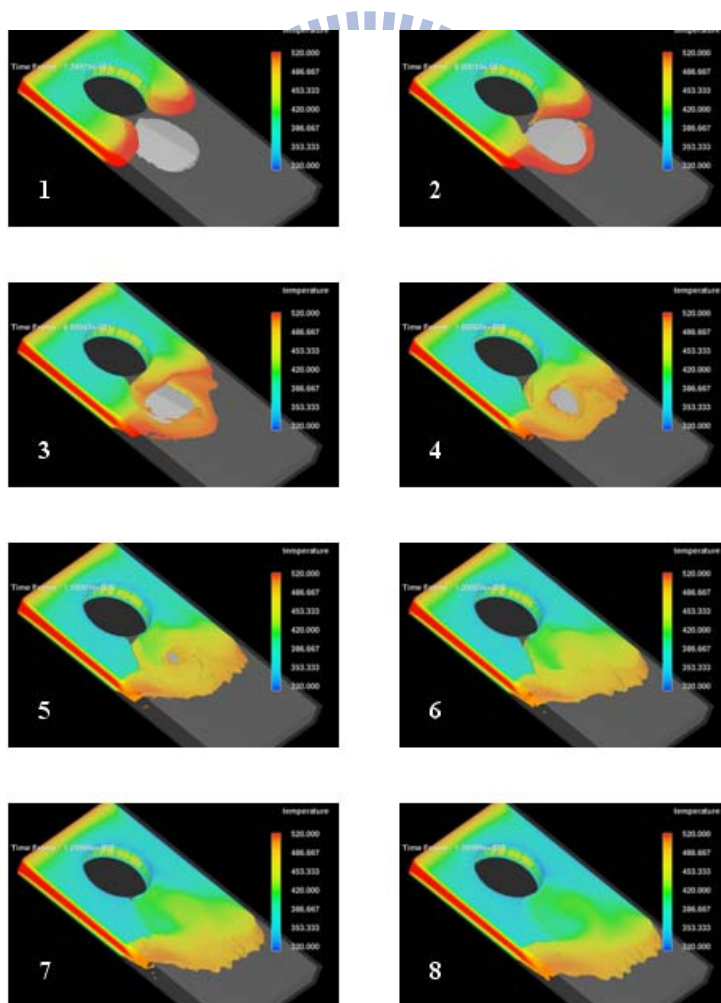


圖 5.23 以 FLOW-3D 模擬 Type3 旋轉體的運動對塑膠充填的影響



圖 5.24 沖模機構實驗設備



圖 5.25 沖模模具（已安裝加熱棒）

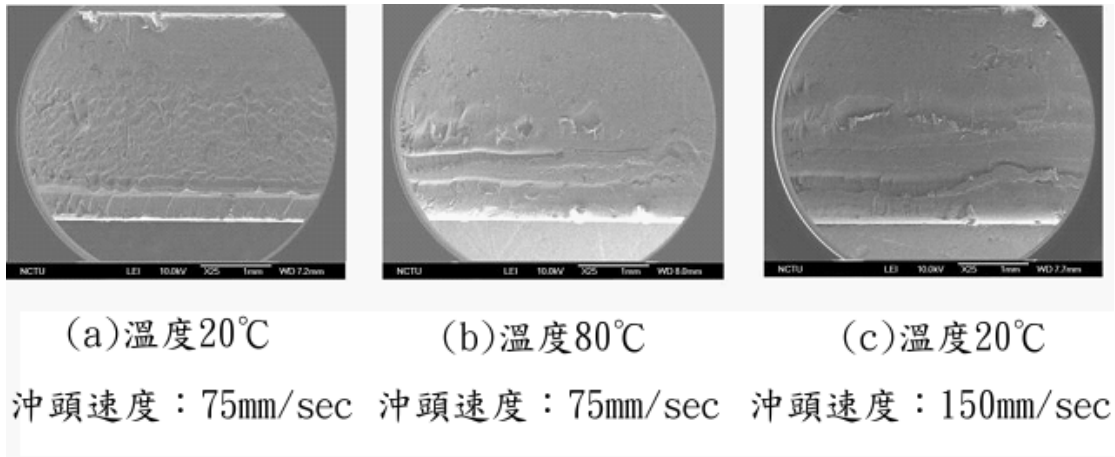


圖 5.26 ABS 在不同剪斷加工條件下的剪斷面 SEM 圖

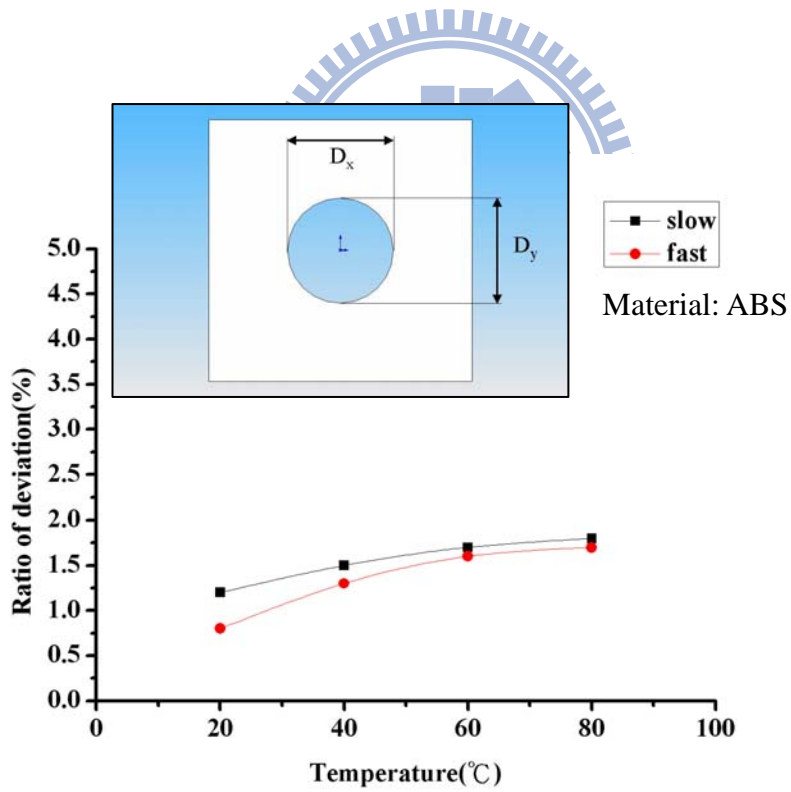


圖 5.27 沖頭與孔洞的直徑尺寸差圖（材料為 ABS）

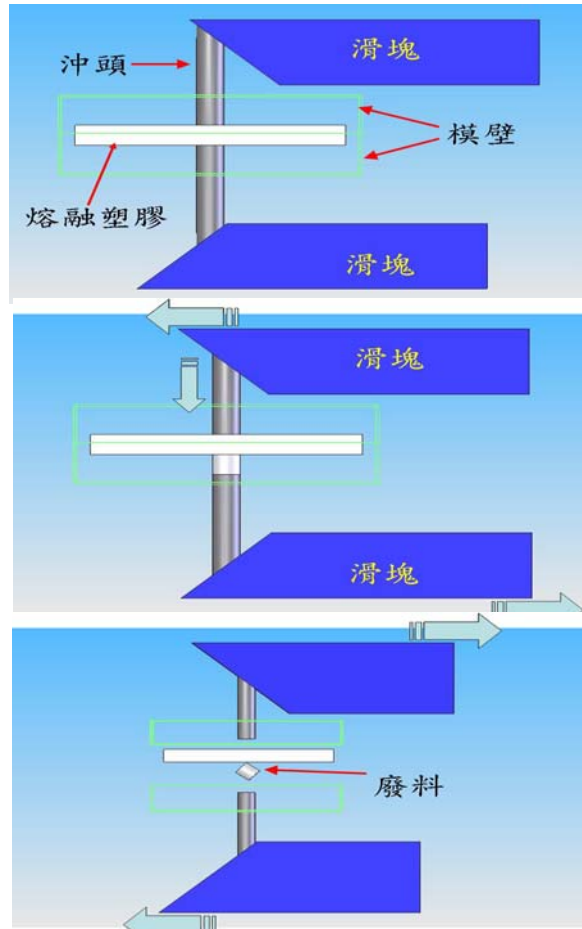


圖 5.28 模內沖模機構動作原理

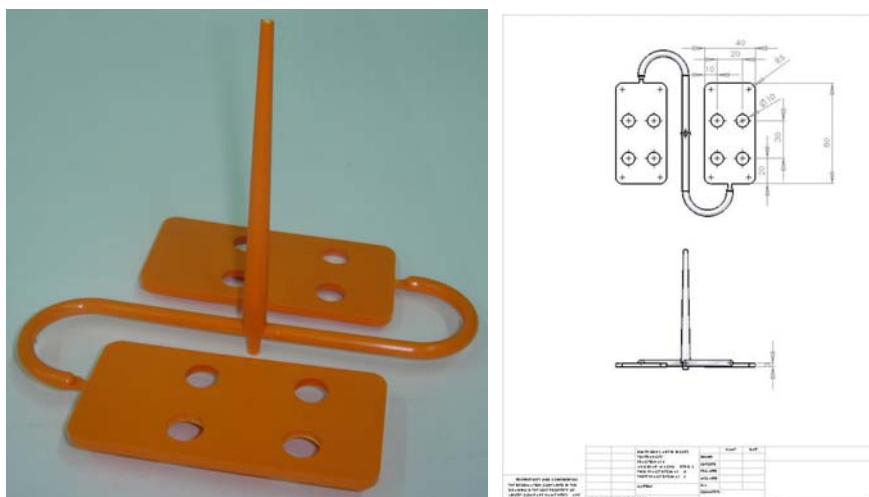


圖 5.29 模內沖模試片外型及尺寸規格

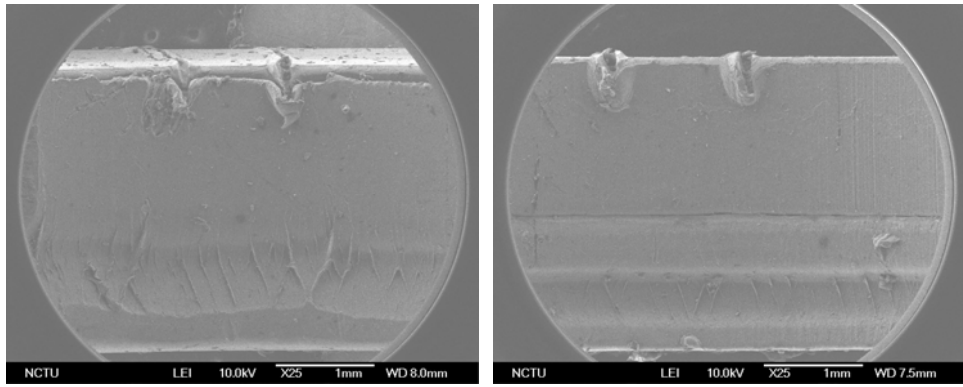


圖 5.30 剪斷實驗 ABS 截面SEM 圖 (沖壓力 $95\text{kg}/\text{cm}^2$ 沖壓速度 $595\text{mm}/\text{s}$)

左圖冷卻時間為 10 sec；右圖冷卻時間為 25 sec



圖 5.31 開放式呼吸調節器元件示意圖



圖 5.32 二級調節器立體及三視圖



圖 5.33 以扭力板手對調節器的螺拴施力



圖 5.34 嵌入件安裝位置發生製品破裂問題

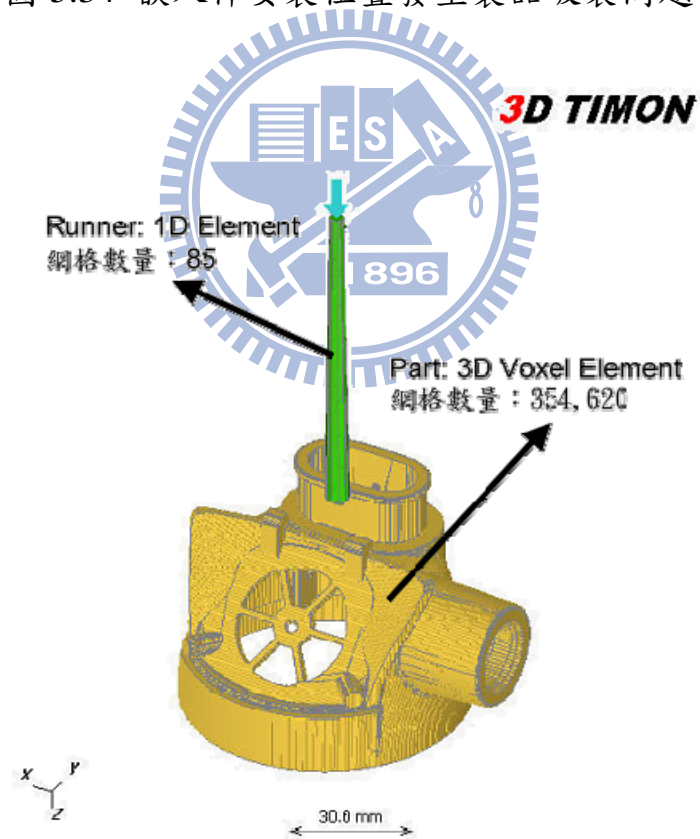


圖 5.35 3D TIMON 呼吸調節器之分析網格圖檔

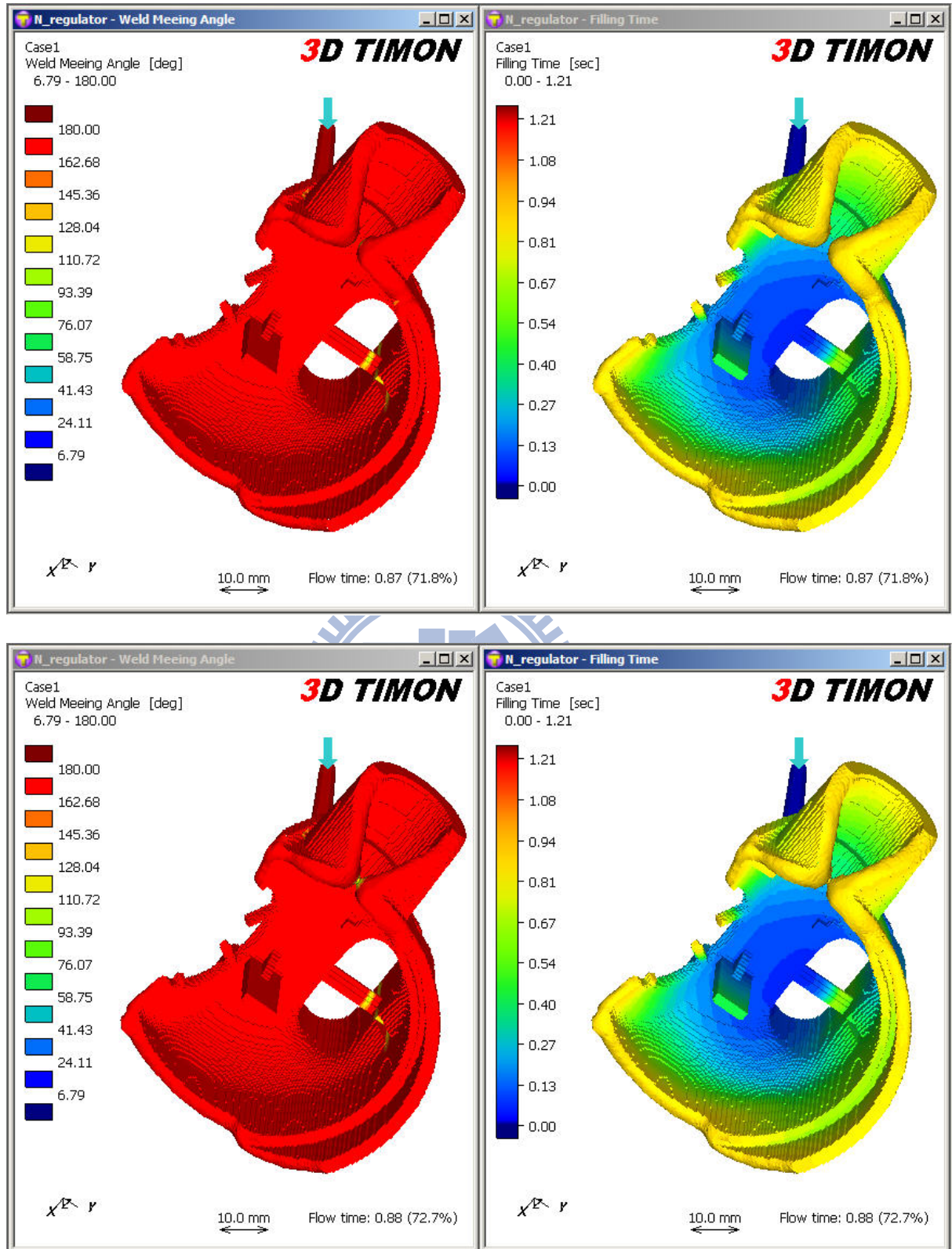


圖 5.36 呼吸調節器之結合線形成模擬

(分析軟體：3D TIMON)



圖 5.37 呼吸調節器之成形機台



圖 5.38 呼吸調節器模具



圖 5.39 準備安裝至呼吸調節器模具上的嵌入件



圖 5.40 呼吸調節器成形品



圖 5.41 螺柱試片背面的縮水現象

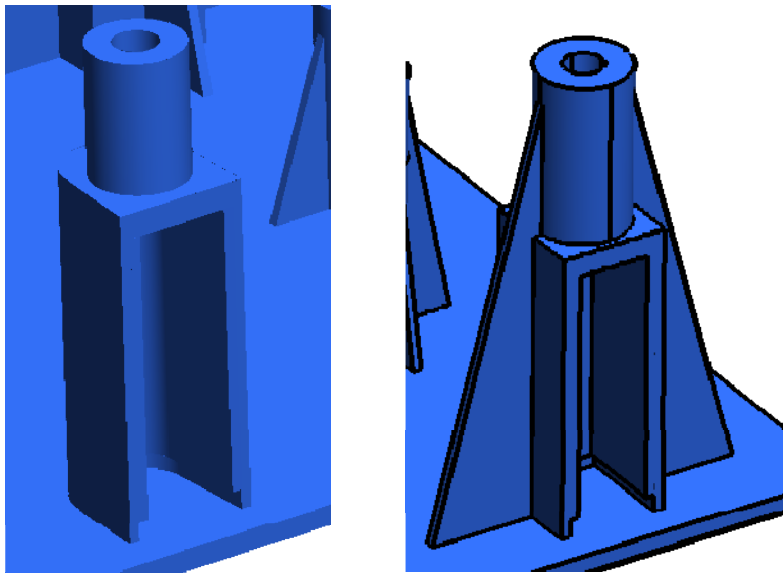
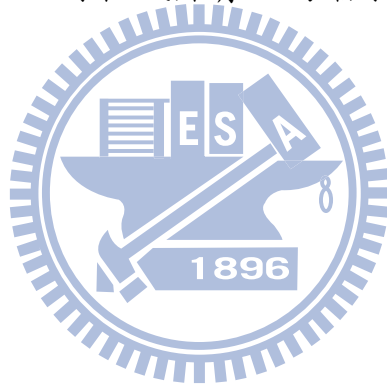


圖 5.42 修改後的螺柱造型 (TypeA/TypeB)

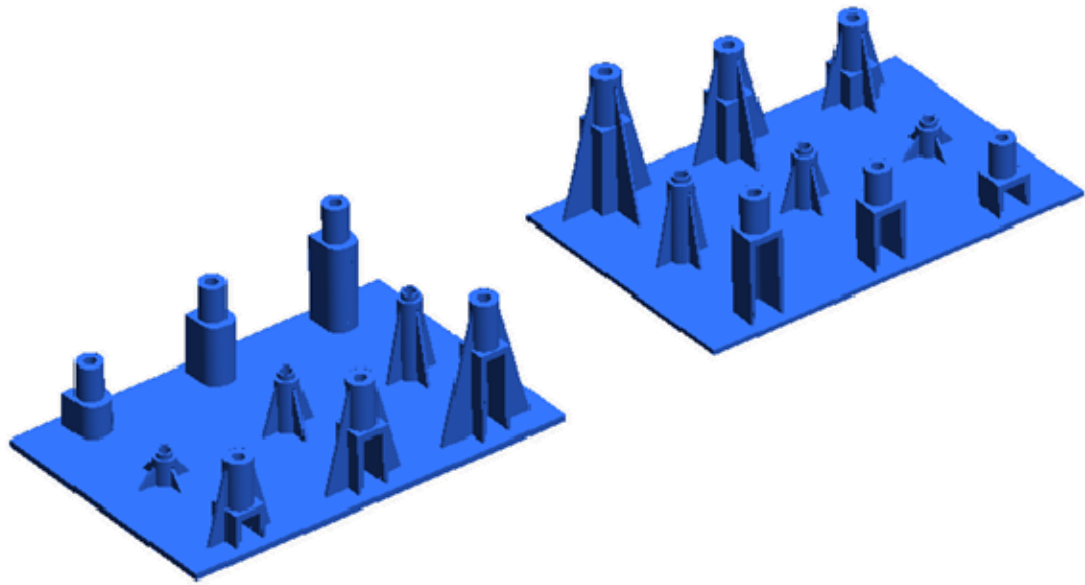


圖 5.43 螺柱試片 3D 圖檔

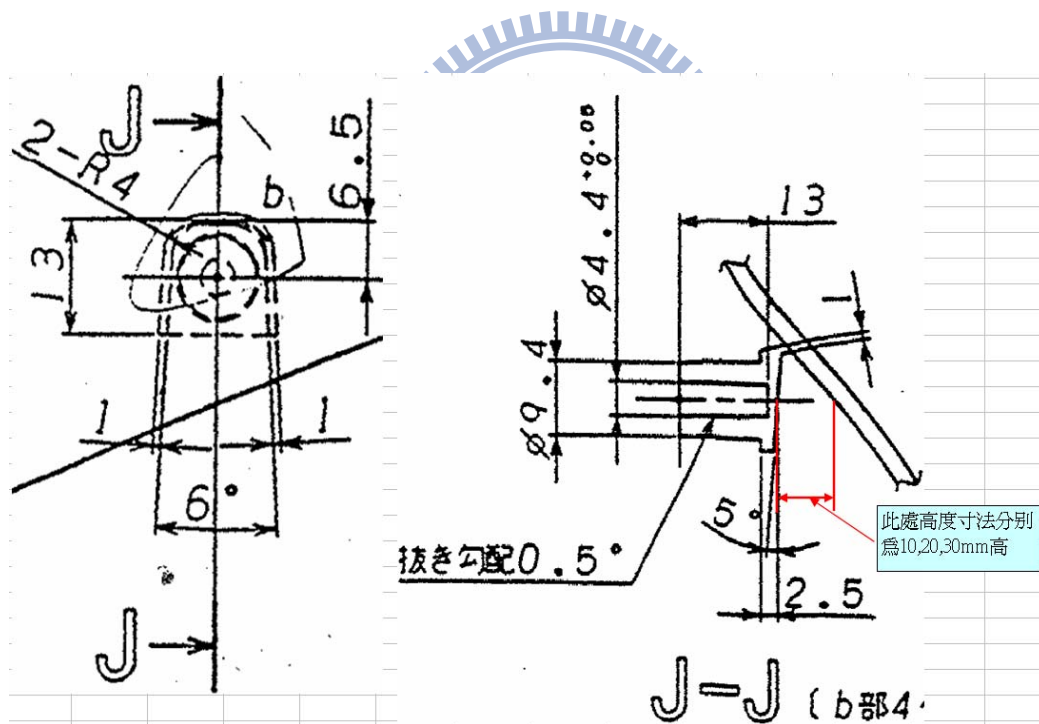


圖 5.44 (a)、螺柱形式 - TypeA [71]

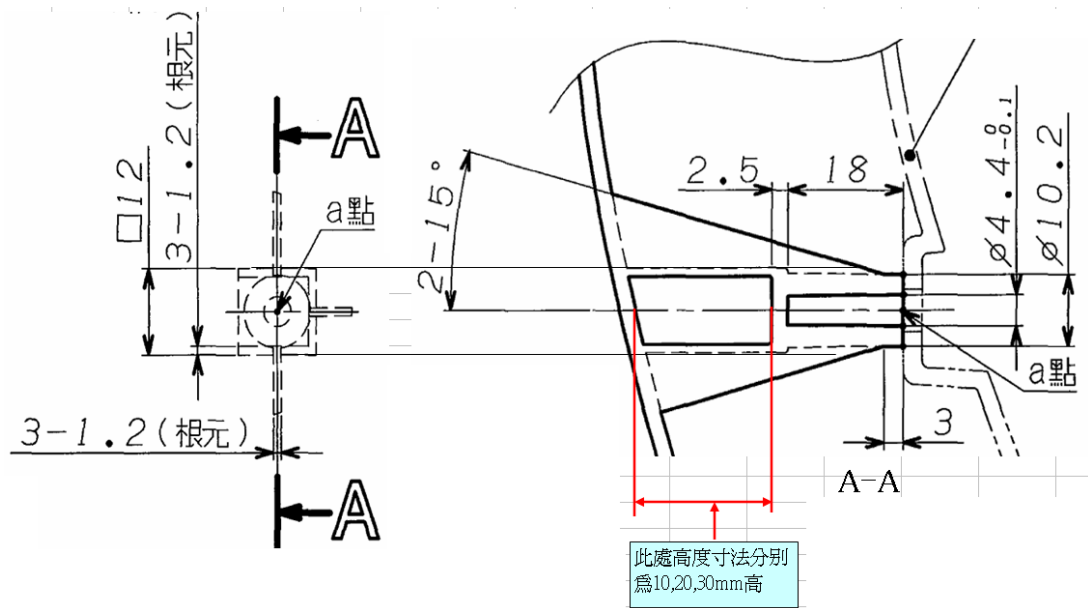


圖 5.44 (b)、螺柱形式 - TypeB [71]

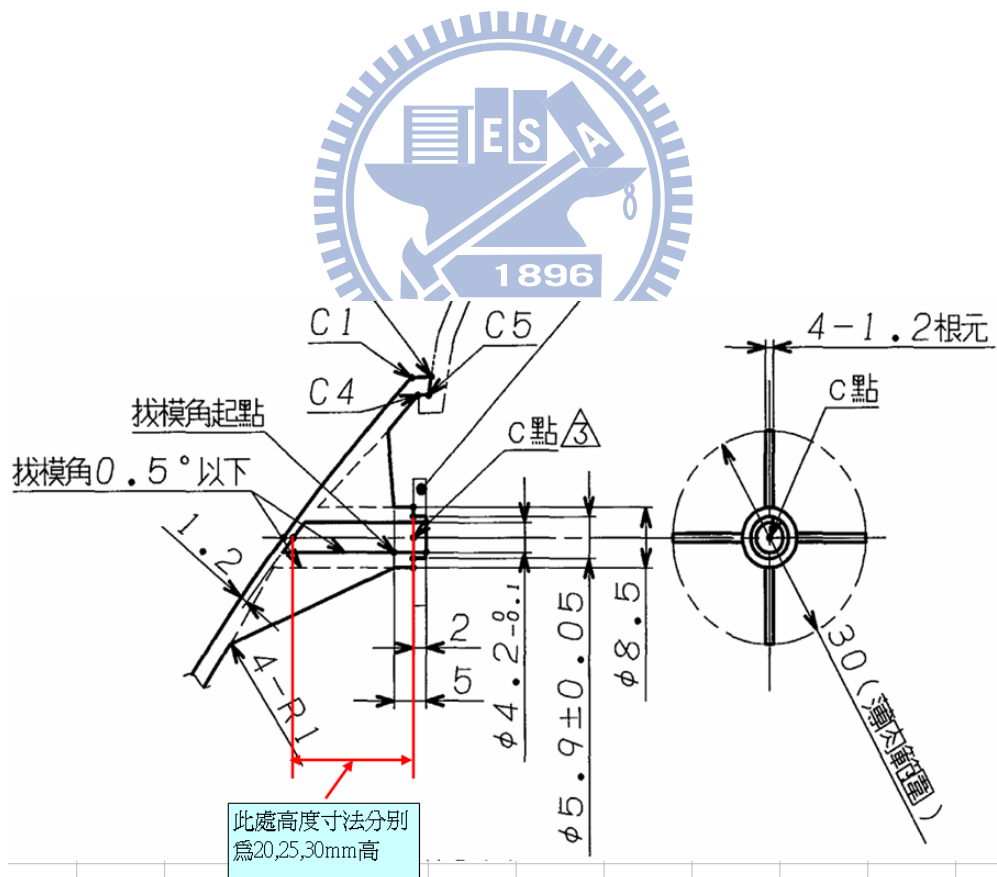


圖 5.44 (c)、螺柱形式 - TypeC [71]

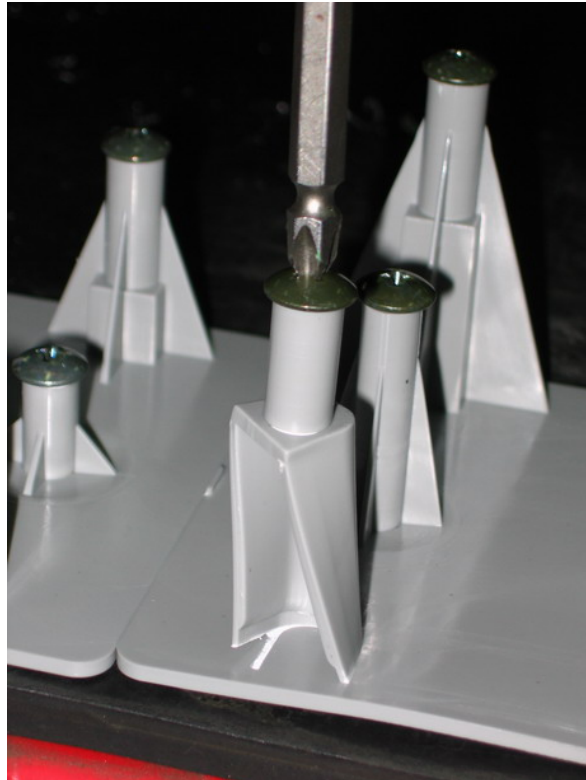


圖 5.45 TypeA 螺柱破壞方式



圖 5.46 TypeB 螺柱破壞方式

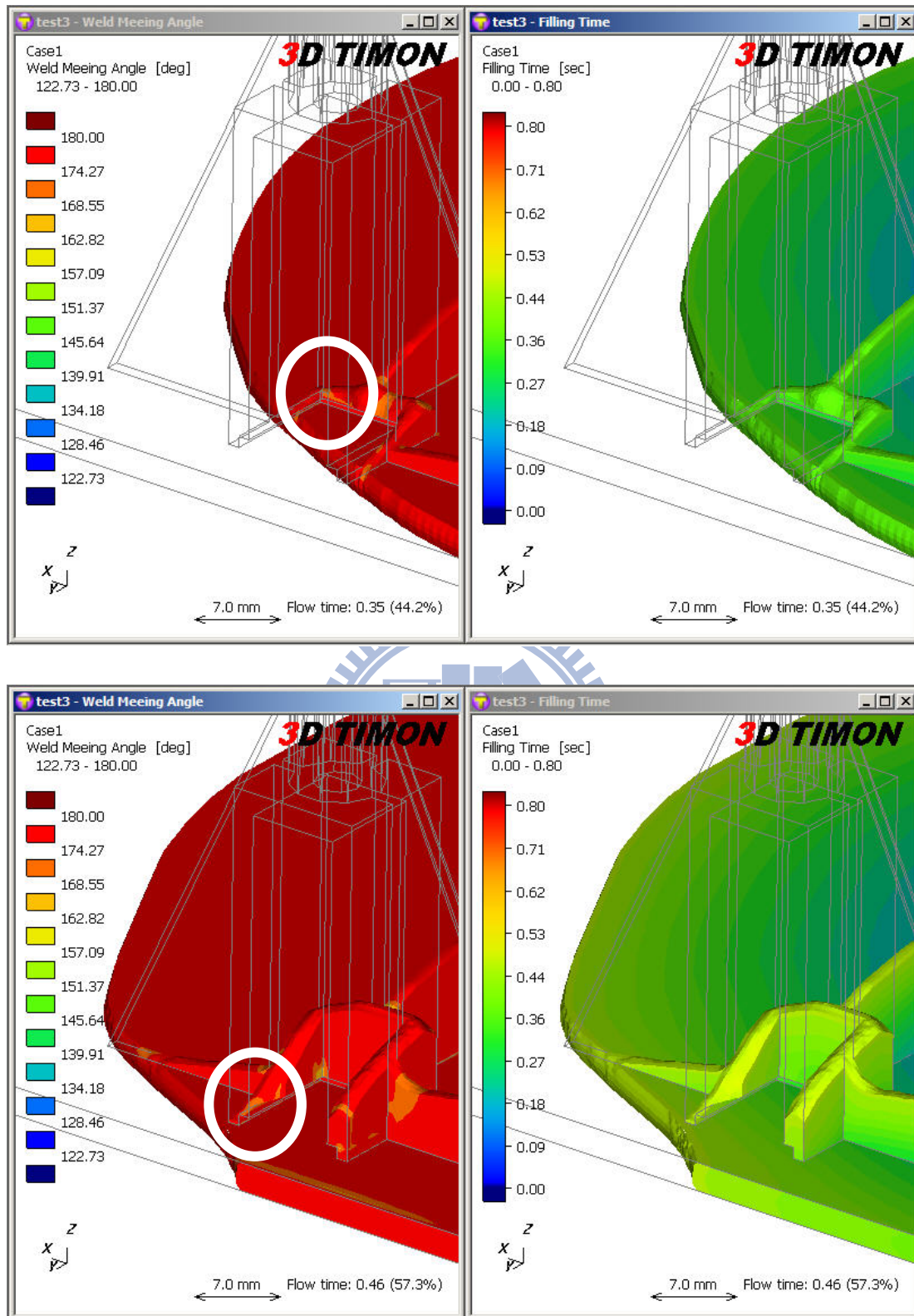
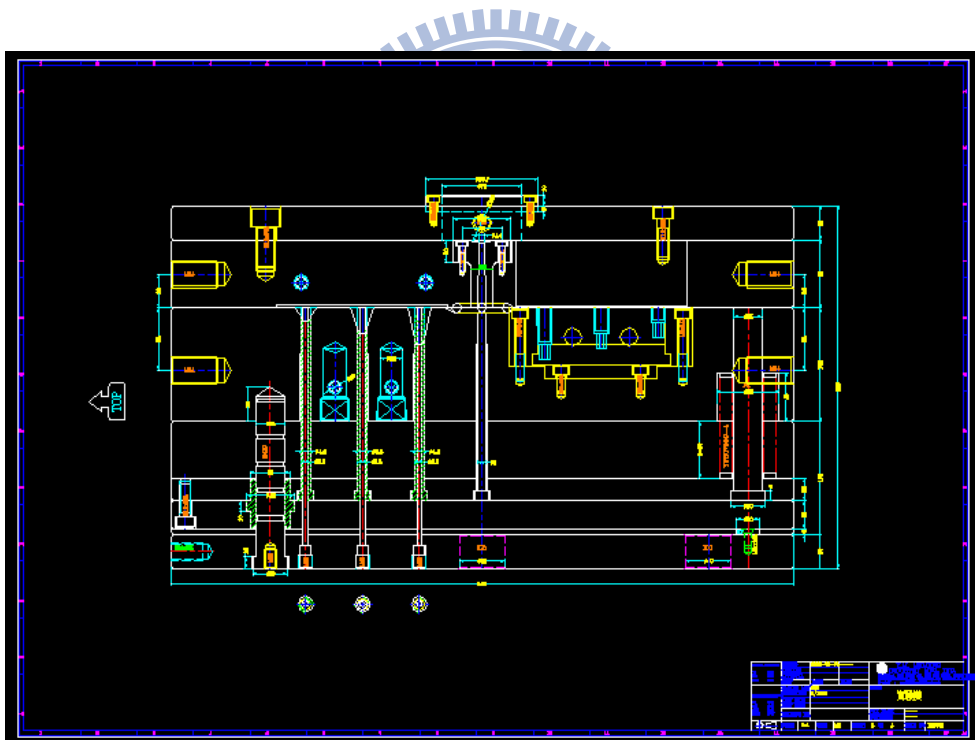
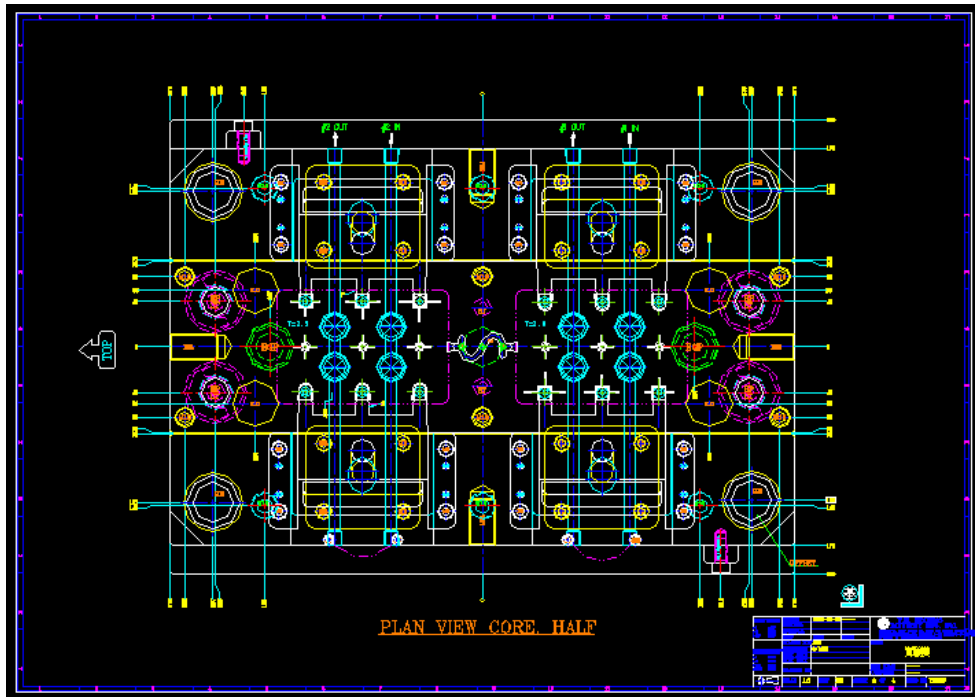


圖 5.47 螺柱試片底部與肋相接處產生結合線之模擬

(分析軟體：3D TIMON)



5.48 螺柱試片模具組立圖



圖 5.49 螺柱試片模具圖

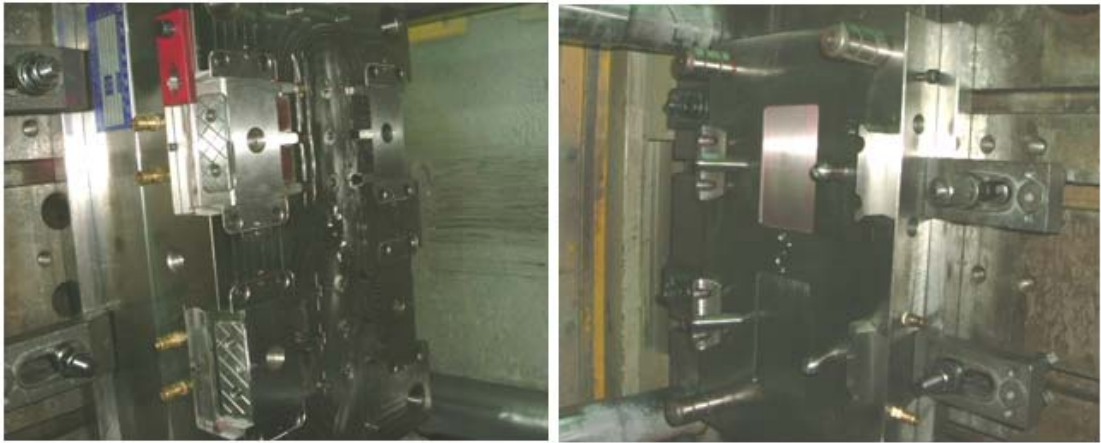


圖 5.50 螺柱試片模具圖（公模側與母模側）



圖 5.51 螺柱試片模具圖（操作側與反操作側）



型	式	CLF-250
射出量	OZ	20
射出重量	gr/ps	630
射膠壓力	kg/cm ²	2142
螺桿直徑	m/m	55
鎖模力	ton	250
柱內間隔	mm(h*v)	550*550
客模模厚	m/m	200-600
最大開模行程	m/m	540



圖 5.52 成形機台 (CLF-250T / 全立發 250 噸射出成型機)

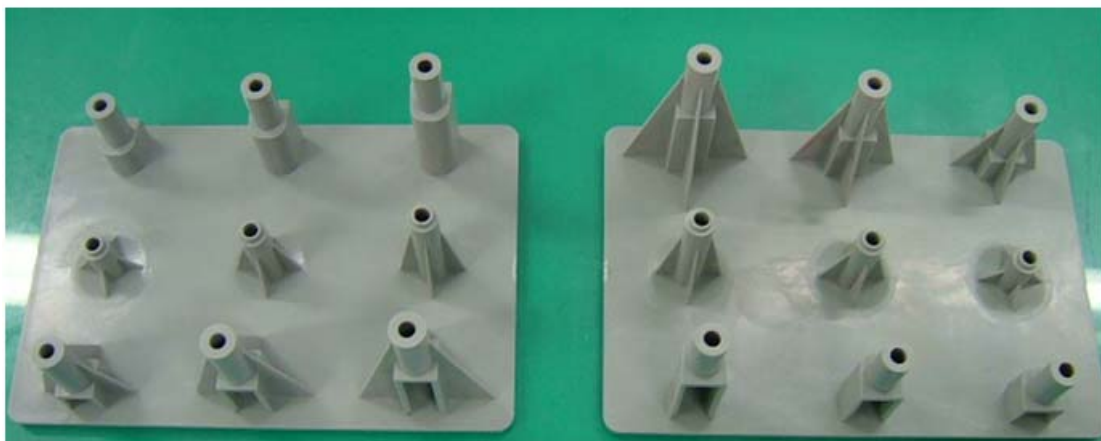


圖 5.53 螺柱試片



圖 5.54 扭矩實驗使用之扭力扳手

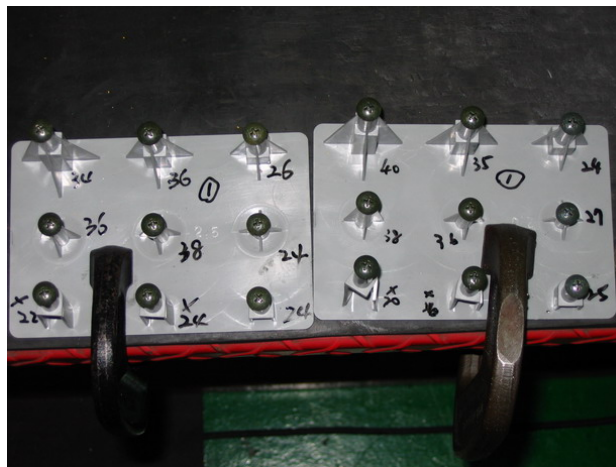


圖 5.55 螺柱試片固定方式

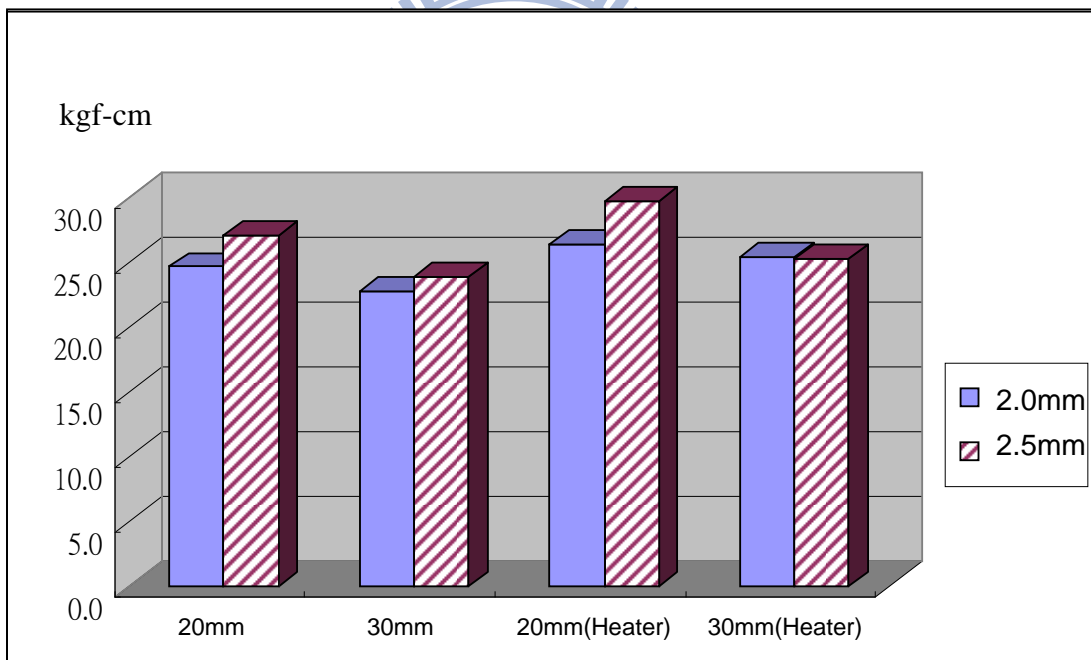
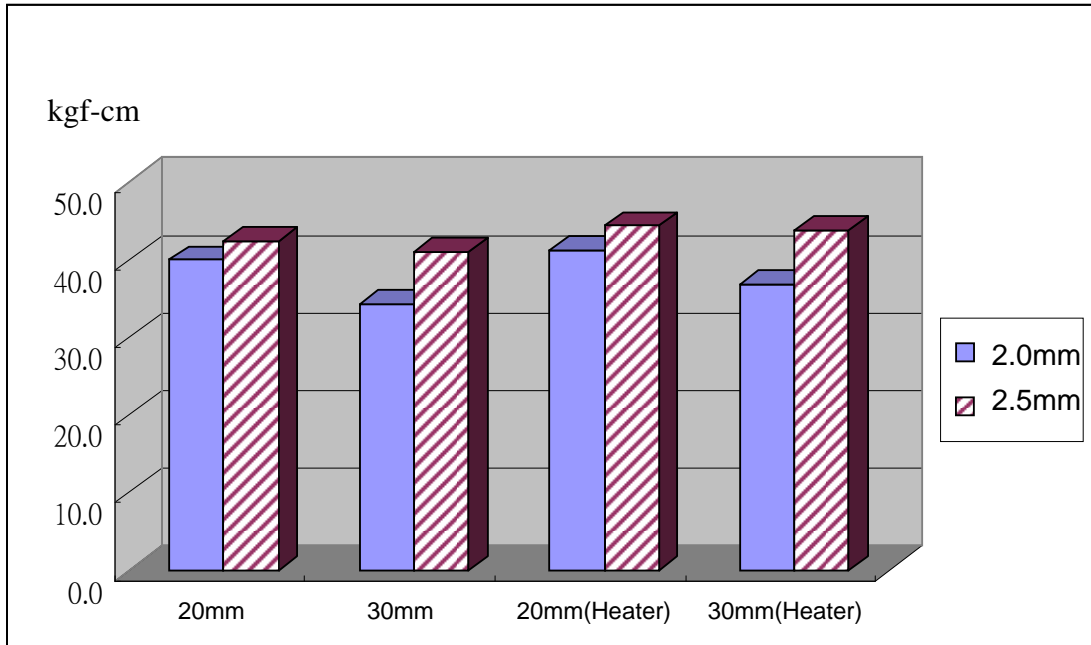


圖 5.56 TypeA 螺柱破壞之扭矩大小

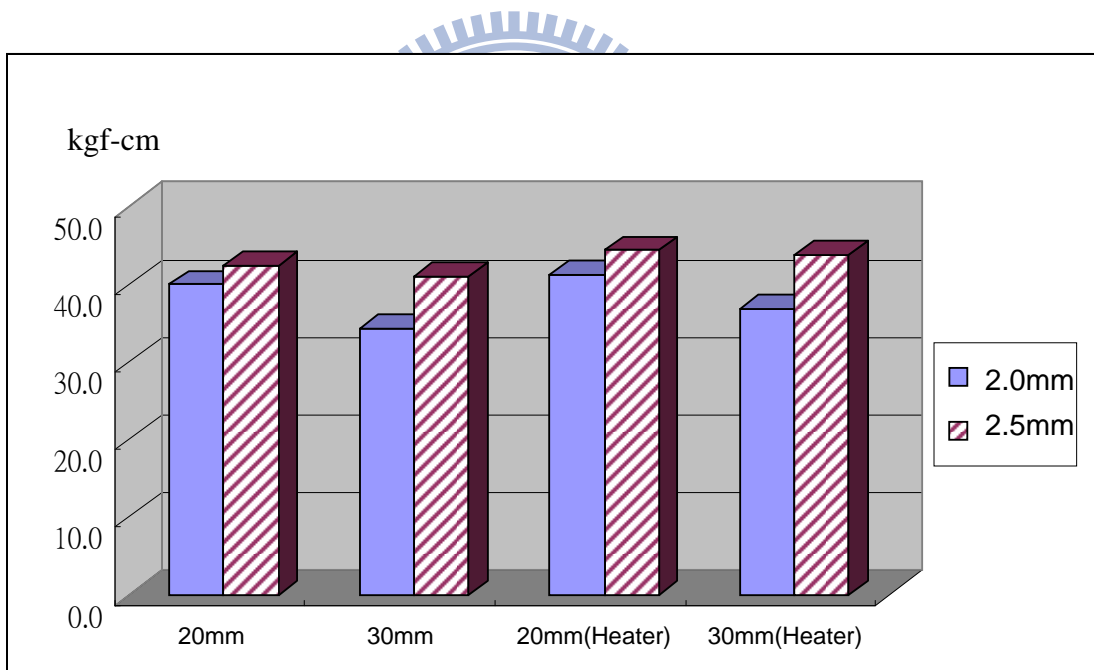
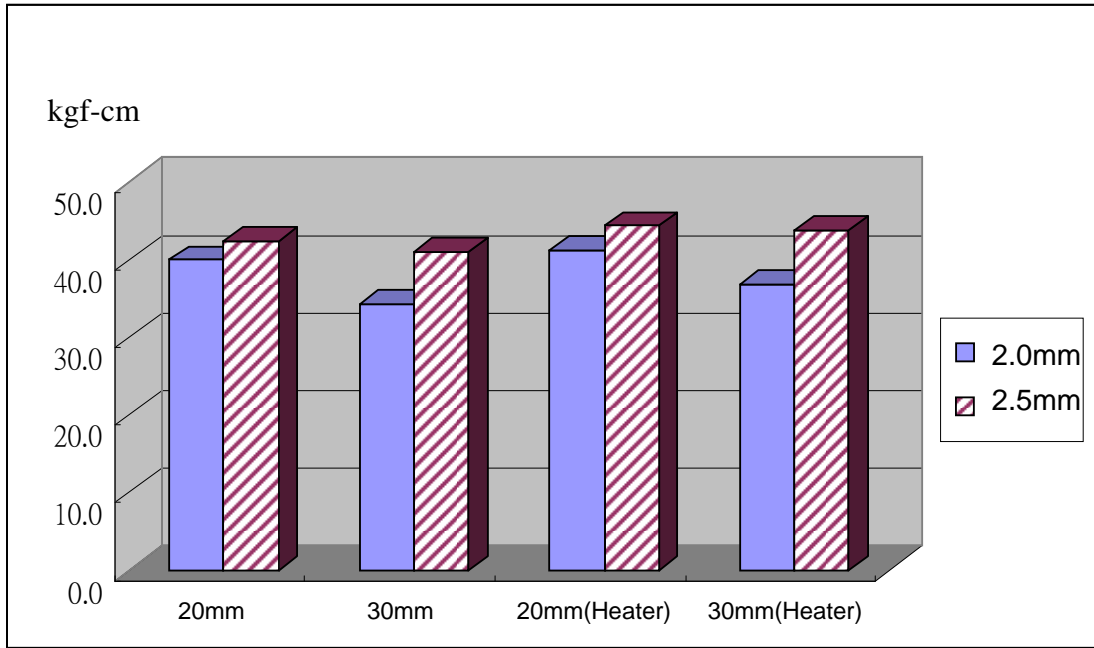


圖 5.57 TypeB 螺柱破壞之扭矩大小

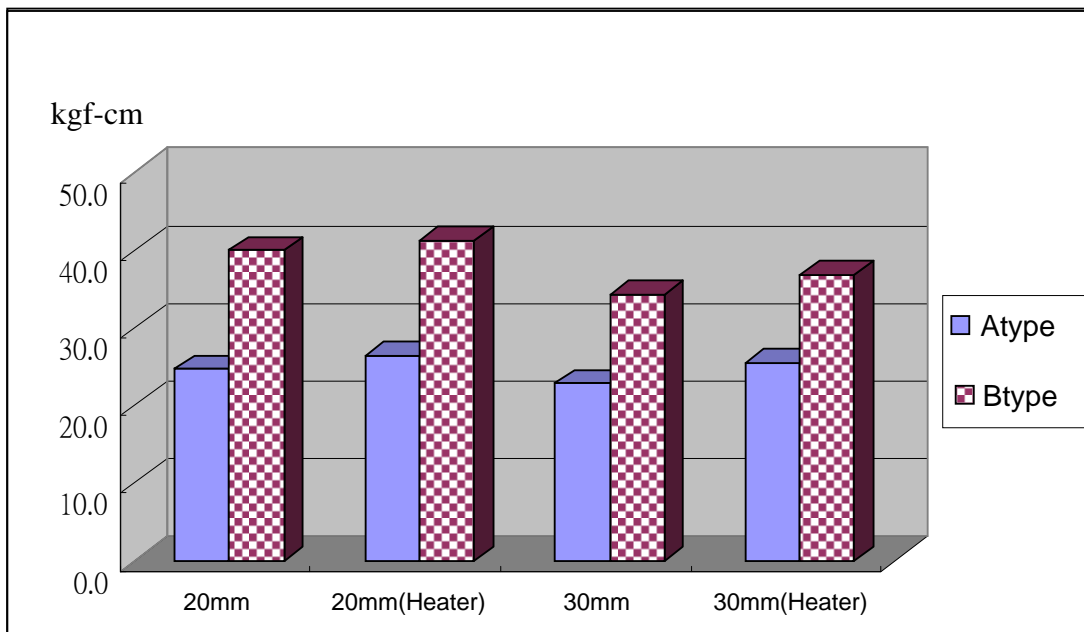


圖 5.58 2.0mm 底板螺柱破壞之扭矩大小

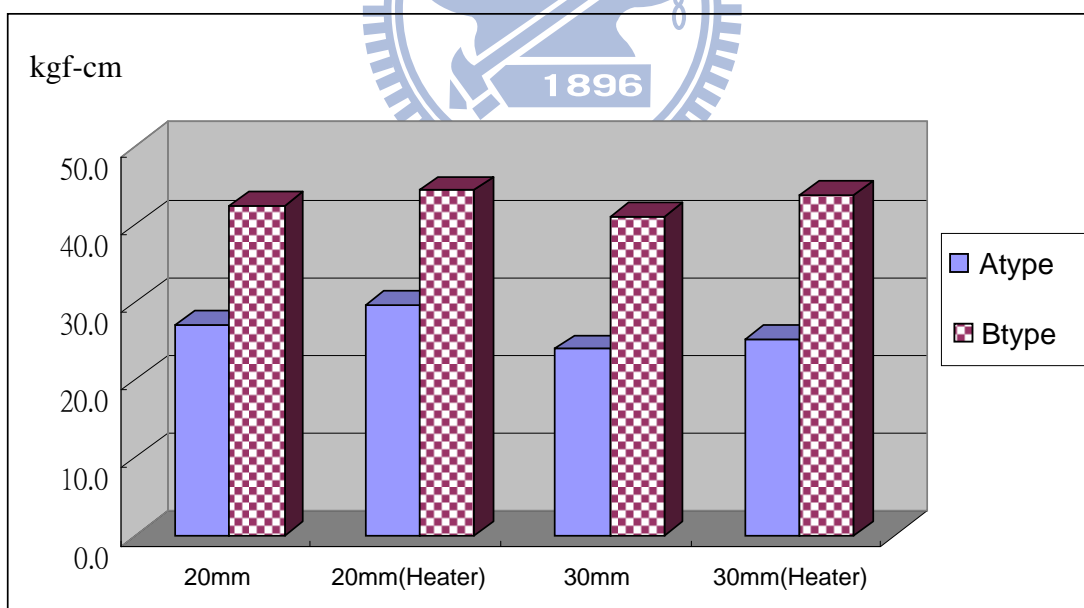


圖 5.59 2.5mm 底板螺柱破壞之扭矩大小

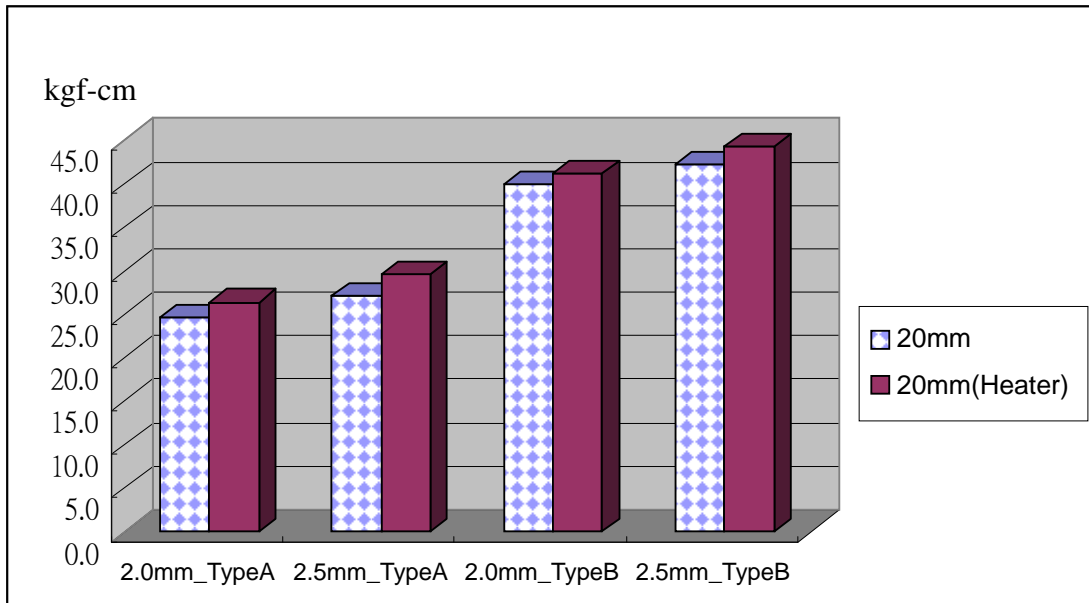


圖 5.60 20mm 高螺柱破壞之扭矩大小

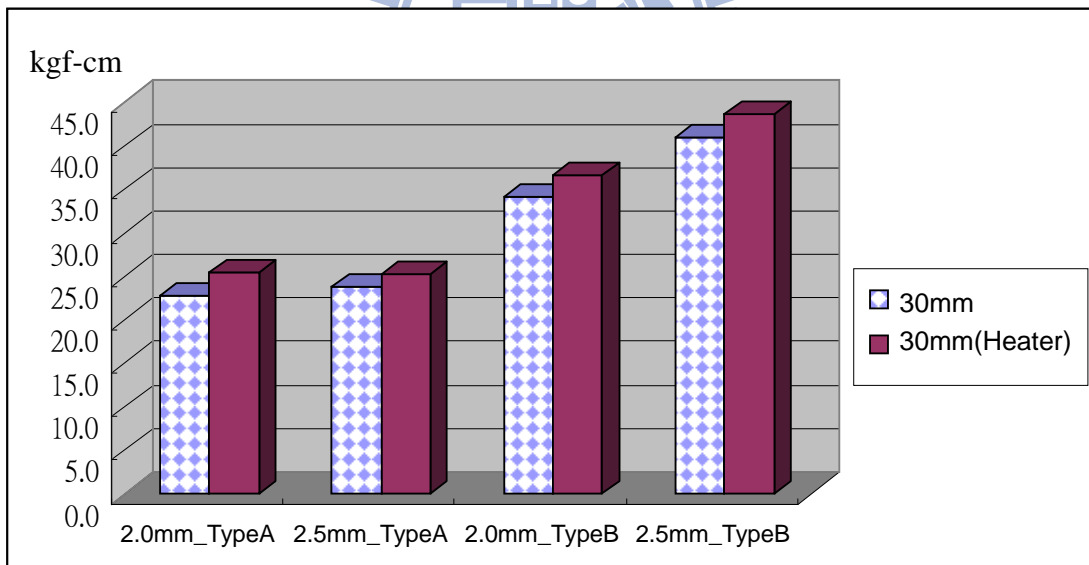


圖 5.61 30mm 高螺柱破壞之扭矩大小

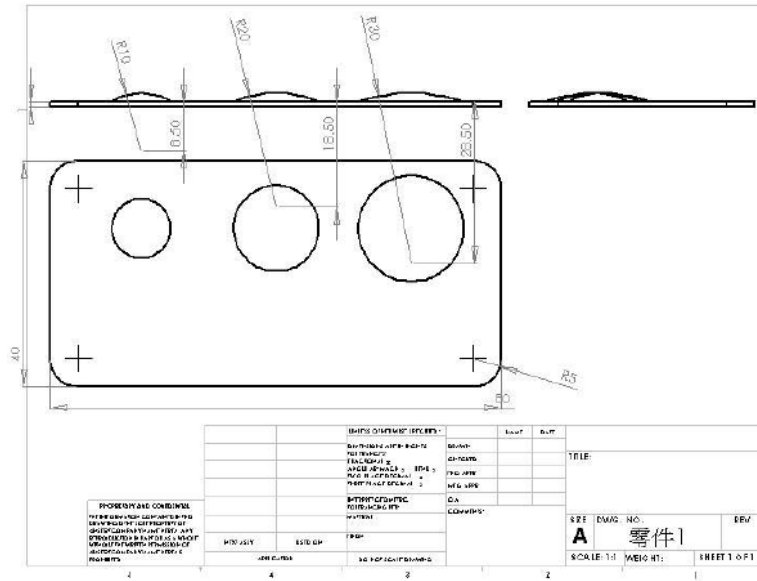


圖 5.62 殘留應力實驗試片尺寸

(厚度規格有四種：1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mm)

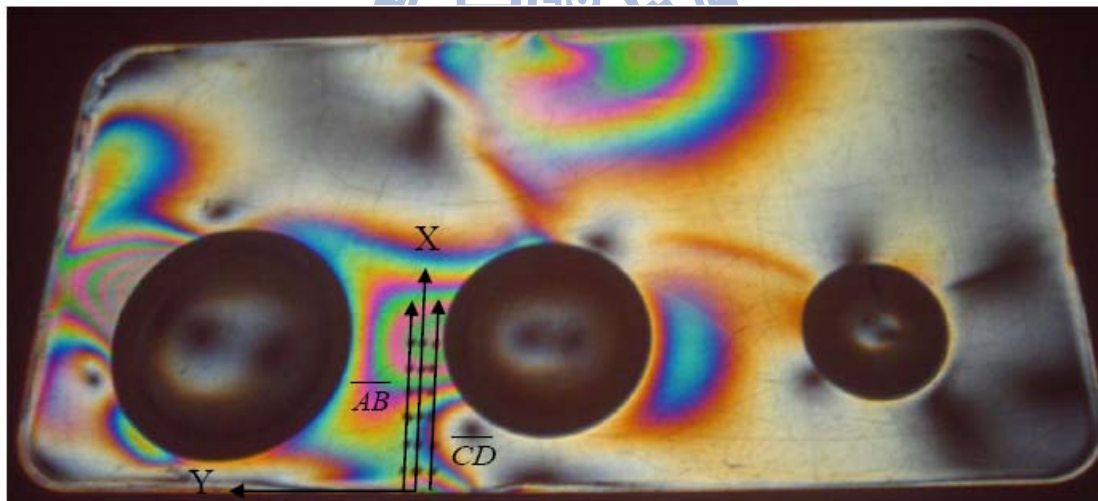


圖 5.63 殘留應力實驗試片量測應力位置

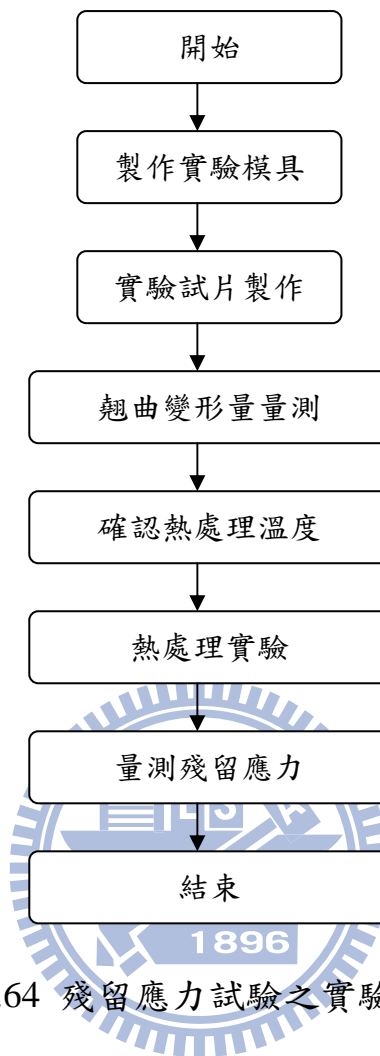


圖 5.64 殘留應力試驗之實驗流程

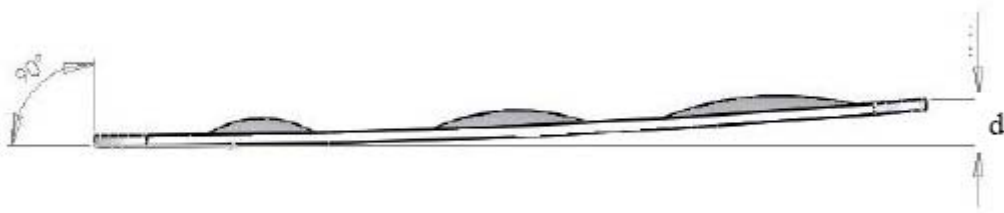


圖 5.65 殘留應力實驗試片之翹曲變形量測位置

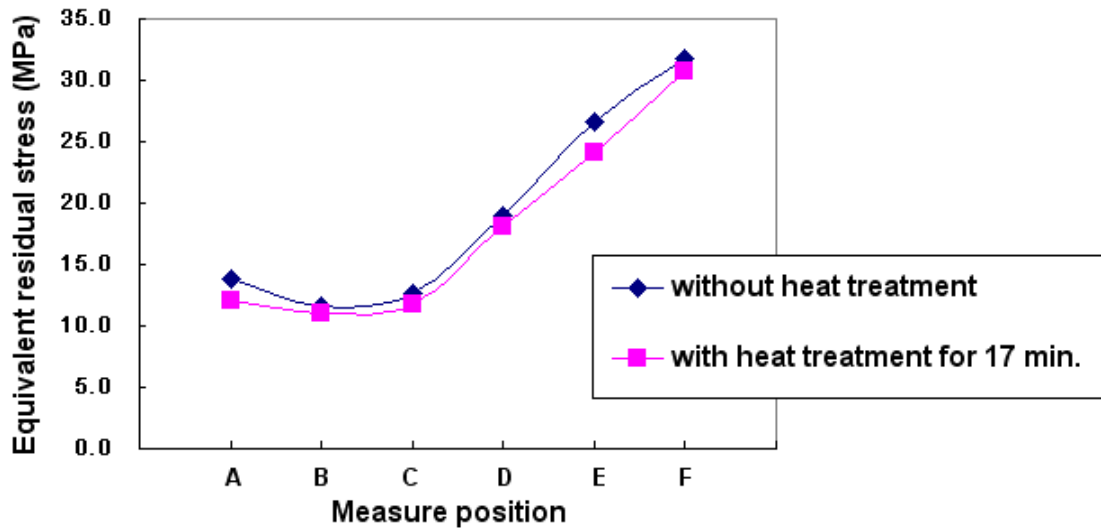


圖 5.66 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 17 分鐘)

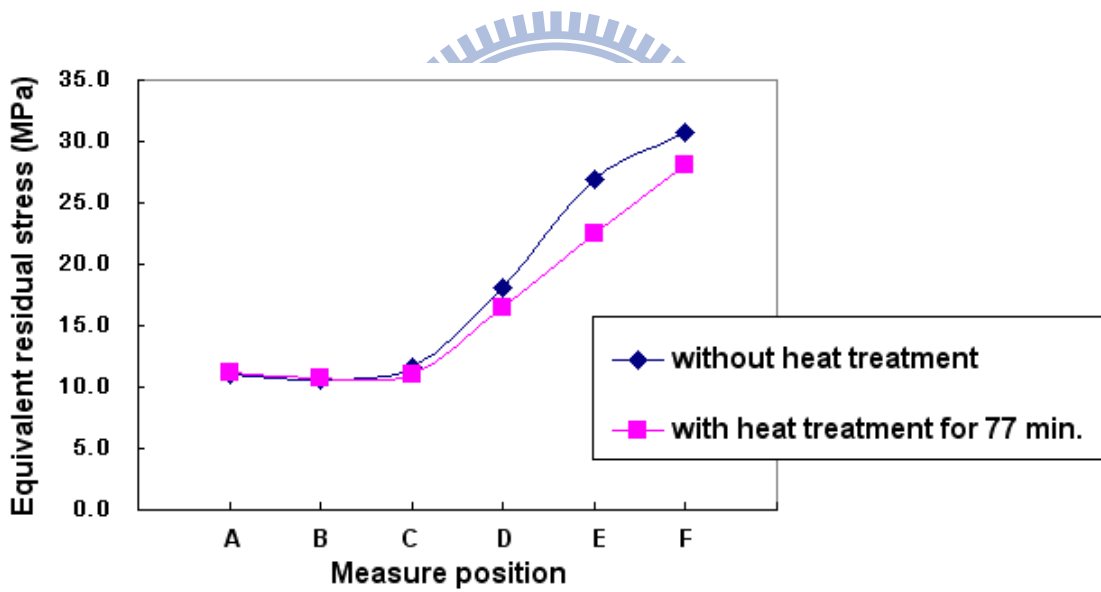


圖 5.67 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 77 分鐘)

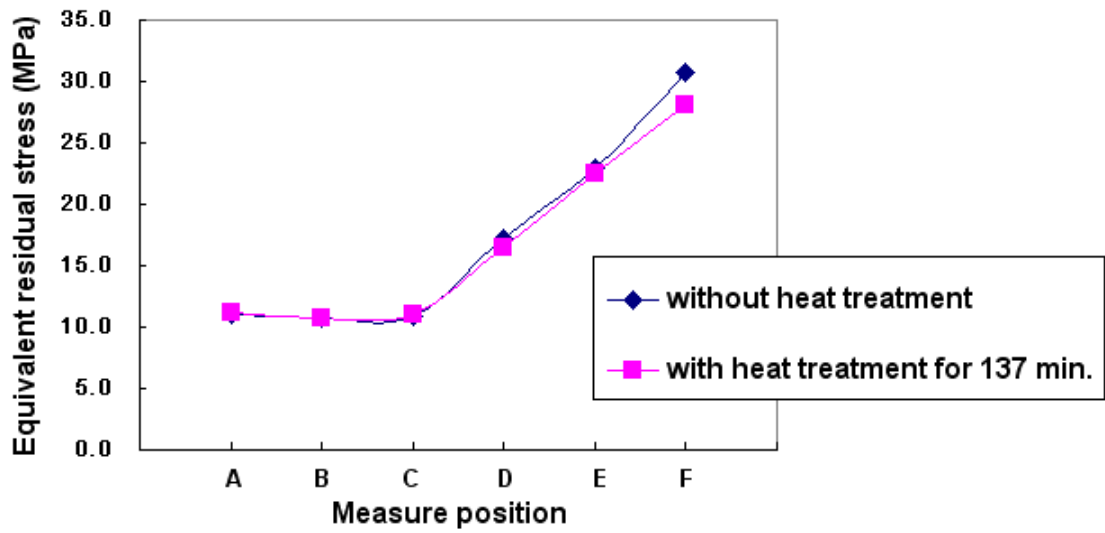


圖 5.68 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 137 分鐘)

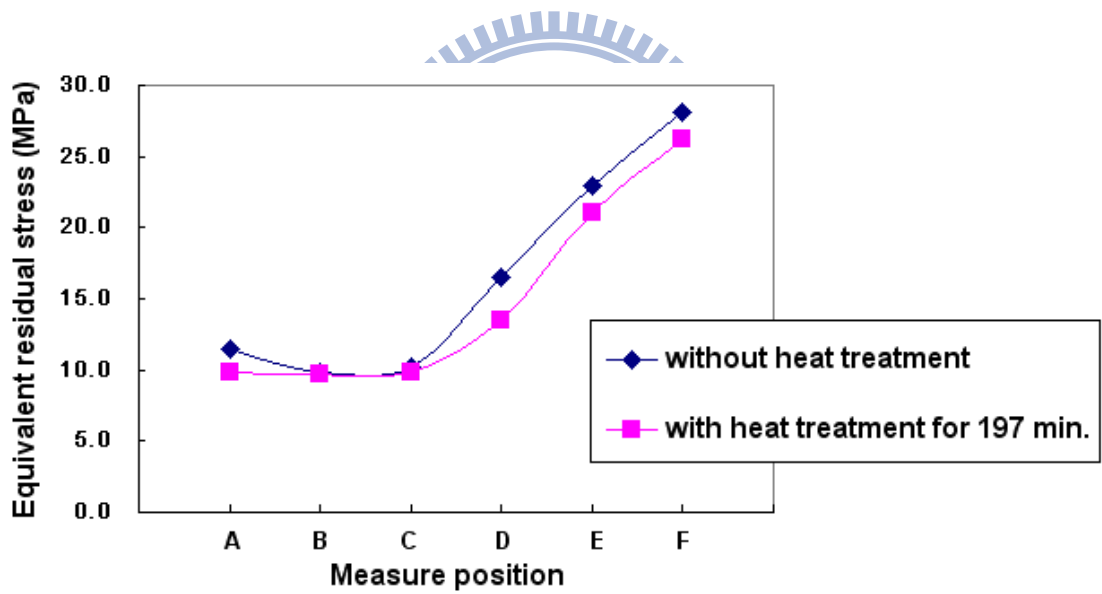


圖 5.69 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 197 分鐘)

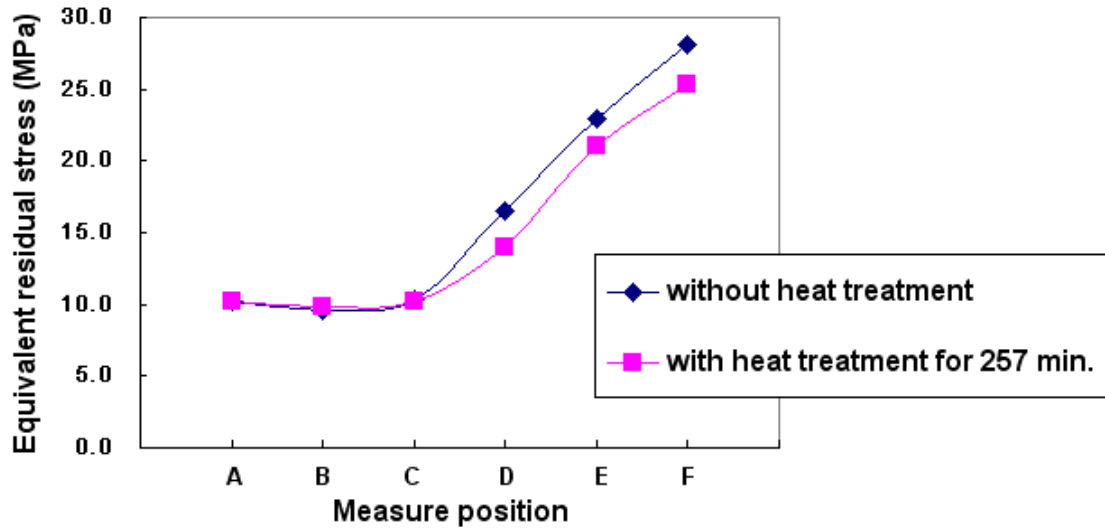


圖 5.70 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 257 分鐘)

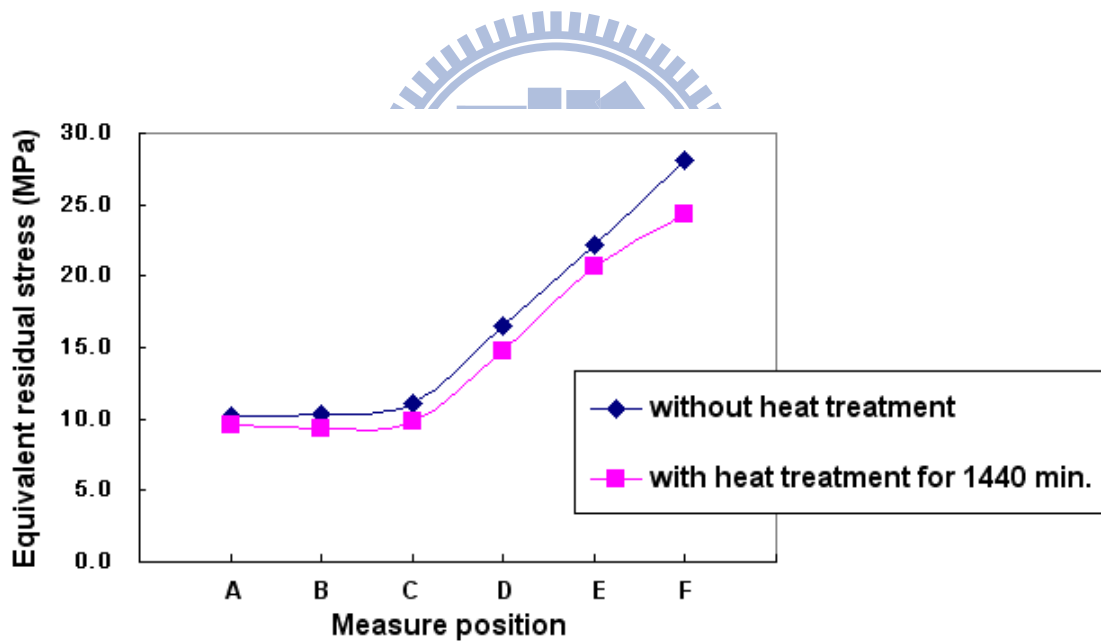


圖 5.71 PC 試片等效殘留應力大小 (未熱處理 vs. 熱處理 1440 分鐘)

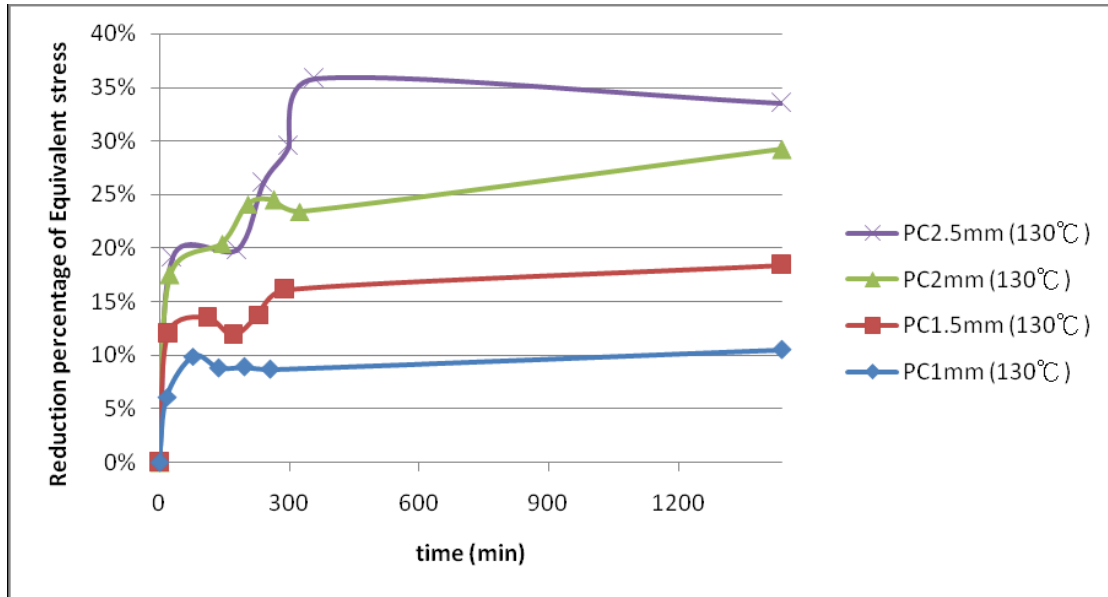


圖 5.72 PC 試片等效應力降低百分比與熱處理時間關係圖

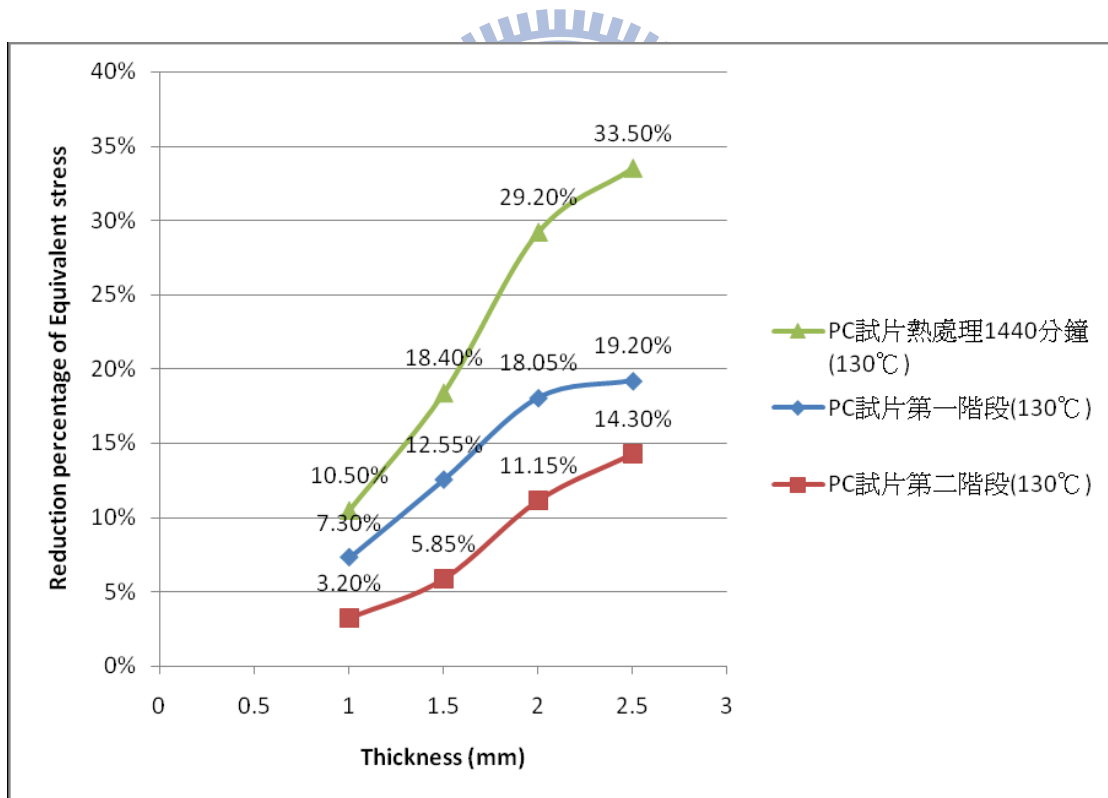


圖 5.73 PC 試片兩階段等效應力降低百分比比較圖

第六章、結論與建議

本論文主要是針對塑膠射出成型製程的兩種常見缺陷-結合線與殘留應力進行問題評估與解決，研究中討論了三種不同的塑膠射出成型製程（傳統塑膠射出成型製程、添加金屬粉末塑料射出成型製程，以及嵌入成形製程）產生的結合線缺陷及其改善方式，以及如何利用熱處理製程解決殘留應力問題。

針對傳統射出成型的結合線缺陷，本論文根據以往研究改善方法中的不足之處，提出一套模具加熱冷卻機構，並且以實驗進行驗證；添加金屬粉末塑料射出成型部分，研究中根據其結合線的形成方式，提出兩種模具改善方案（模內旋轉機構與模內沖模機構），並且以實驗進行驗證；嵌入成形部分，則是提出一套能夠安裝於模具內的加熱機構，該加熱機構能夠在成形過程中先對嵌入件加熱；最後以兩個實際生產的產品進行測試。

殘留應力部分，論文中以熱處理方式對射出成型試片進行應力釋放，再搭配光彈法量測殘留應力的方式，得知熱處理參數對於殘留應力的影響。

本章節將針對上述研究結果作一結論，並提出進一步相關建議，以供後續在塑膠射出成型領域的模具機構研究者能夠作為參考。

6.1 結論

1. 傳統射出成型：

本論文提出的模具加熱冷卻機構，能夠改善結合線的外觀缺陷與強度；實驗中得知在加熱機構作用下，結合線的強度可提昇 6.8%，結合線的深度（V 形缺口）可由原本的 $12\ \mu\text{m}$ 降低至 $0.5\ \mu\text{m}$ ，以肉眼觀察結合線已經完全消失。模具加熱冷卻機構不需要針對整組模具進行加熱，只需要在結合線產生的位置作局部加熱，就可以改善結合線問題。

2. 添加金屬粉末塑料射出成型：

本研究中的兩種模具改善機構（模內旋轉機構與模內沖模機構）的運作原理，都是希望藉由改變塑膠的流動波前狀況，進而改善結合線缺陷。在經過實驗測試後，可確定模內旋轉機構的改善效果有限，模內沖模的效果較好。

模內旋轉機構雖然能夠讓結合線痕跡模糊，但是外觀仍然會有其他缺陷（塑料在旋轉入子運動時飛濺至模壁，在表面形成條紋與流痕）；模內沖模機構則是製作無結合線的試片，但是在剪切面的平整度仍然需要搭配剪斷機構的速度調整。

3. 嵌入成形：

對嵌入件進行加熱，能夠讓塑料通過嵌入件後的結合線強度提昇，讓成形品的破壞不再從嵌入件位置發生。本研究將加熱機構應用於呼吸調節器產品的生產上，讓原本的產品良率從 30% 提昇至 100%；而利用類似機構裝置於滑塊內側，對滑塊進行溫度控制，能夠在不改變機構外

型與模具機構設計下，提昇產品強度；根據實驗結果，在加熱滑塊的作用下，螺柱試片上的各種螺柱強度能夠增加 5%~20%。

4. 殘留應力實驗：

本實驗是將不同厚度的塑膠射出成型 PC 試片以不同的熱處理參數進行應力釋放，再以光彈法量測熱處理後的殘餘應力。實驗結果發現肉厚對於熱處理降低殘留應力的效果影響極大，越薄的試片所需的熱處理時間越短；材料在熱處理時，殘留應力降低效果隨著時間增加而遞減；殘留應力的降低有其極限，達到極限後更長熱處理時間無法再次降低殘留應力；而對於肉厚在 2.5mm 以下之 PC 實驗試片，30 分鐘的熱處理時間已可減少 50% 以上之殘留應力。



6.2 未來展望

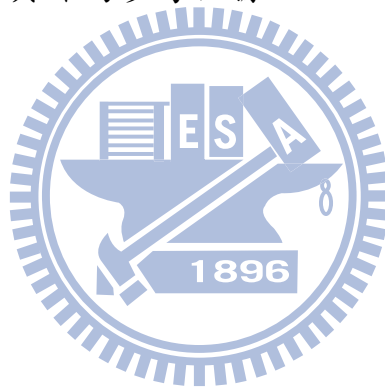
1. 研究中應用於傳統射出成型的模具加熱冷卻機構，採用均溫板作為均勻加熱的介質。均溫板的優勢在於能夠在一個平面上完成快速且均勻的導熱，但是其缺點在於形狀上有其限制（平面）。如果模穴的外型曲面居多，從模穴表面至到模仁底部就會有不同的厚度差異，熱板的導熱效果可能會因為模仁的厚度的差異受到影響。後續研究也許可以考慮以薄銅片取代熱板作為均勻加熱的介質；薄銅片的延展性佳，可以配合模仁厚度作局部調整，在導熱要求與產品造型限制下也許可以取代熱板，達到

快速且均勻的導熱。

2. 在模內沖模實驗中，實驗試片採用平板。但是大部分的塑膠產品表面為曲面，曲面沖模時必須考量更多的重點，例如沖頭外型的影響、沖頭與模仁之間的間隙，沖頭的沖擊速度與沖擊行程等問題。如果能夠針對曲面沖模作進一步研究，模內沖模機構就可以應用在更廣泛的產品領域上。
3. 嵌入件加熱機構為滑塊機構，在成形過程中必須考慮到加熱溫度過高，滑塊運動時與壓板/耐磨塊之間發生干涉等問題。後續研究可針對加熱滑塊的膨脹尺寸與其干涉量的影響進行測試；另外，也可考慮以非接觸式的方式對嵌入件進行加熱，這樣可以減少模具機構上的限制。
4. 以熱處理改善殘留應力的方式確實可行，不過在本研究中僅針對加熱溫度與加熱時間進行測試，並未對『加熱速度』進行測試。後續研究可以測試不同的加熱速度對於殘留應力的影響；另外，塑件的潛變（creep）問題在本研究並未考慮。塑膠材料在室溫下承受固定應力時，發生潛變破壞的機率遠大於金屬材料，當熱處理進行時，塑膠材料很可能因為溫度的提高而發生潛變。後續可針對熱處理溫度對於塑料潛變缺陷的影響進行進一步的研究。

6.3 本研究達成之目標

1. 模具加熱冷卻機構可應用於局部結合線的消除，不需要對整組模具進行加熱，也能夠得到外觀無結合線的塑膠射出成型產品。
2. 模內沖模機構可應用於添加金屬粉末塑料之射出成型。
3. 應用於嵌入成形的模具加熱機構可以改善嵌入件成形後的產品破壞問題；加熱滑塊可以在不改變產品外觀與模具機構下，提昇產品的局部強度。
4. 熱處理實驗可以改善殘留應力問題，實驗中得到的研究數據可供後續研究者或是產品製造人員作為參考依據。



參 考 文 獻

- [1] 周文祥譯，C-MOLD 射出成形模具設計，新文京開發出版有限公司，119-134 頁，民國九十七年。
- [2] C-MOLD, C-MOLD Design Guide A Resource for Plastics Engineers, Third Edition, C-MOLD, Ithaca, New York, USA, 1998.
- [3] T. Nguyen-Chung, G. Mennig, M. Boyanova, S.Fakirov and F.J. Balta Calleja, “ Effect of an Obstacle During Processing on the Weld Line of Injection-Molded Glassy Polystyrene: Microhardness Study ”, Journal of Applied Polymer Science, Vol.92, pp.3362-3367, 2004.
- [4] I. S. Dairanieh, A. Haufe, H. J. Wolf and G. Mennig, “Computer Simulation of Weld Lines in Injection Molded Poly (Methyl Methacrylate) ”, Polymer Engineering and Science, Vol.36, No.15, pp.2050-2057, 1996.
- [5] S. Hashemi, “Effect of Temperature on Weldline Integrity of Injection Moulded Short Glass Fibre and Glass Bead Filled ABS Hybrids”, Polymer Testing, Vol.29, Issue 3, pp.327-336,2010.
- [6] N. Mekhilef, A. Ait-Kadi and A. Ajji, “Weld Lines in Injection-Moulded Immiscible Blends: Model Predictions and Experimental Results”, Polymer, Vol.36, Issue 10.,pp.2033-2042,1995.
- [7] N. Merah, M. Irfan-ul-Haq and Z. Khan, “Temperature and Weld-line Effects on Mechanical Properties of CPVC”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.142, Issue 1, pp.247-255, 2003.
- [8] S. Guo, A. Ait-Kadi and M. Bousmina , “A Modified Model Predictions and Experimental Results of Weld-line Strength in Injection Molded PS/PMMA Blends”, Polymer, Vol.45, pp.2911-2920, 2004.
- [9] R. Seldén, “Effect of processing on weld line strength in five thermoplastics”,

- Polymer Engineering and Science, Vol.37 Issue 1, pp.205-218, 2004.
- [10] G. Menges, W. Michael and P. Mohren, How to make injection mold (3rd), Carl Hanser Verlag, Munich, pp.288-299, 2001.
- [11] T. Asano, T. Kankl, N. Sano, J. Fujikawa and S. Haruna, “Development of Vacuum Injection Molding System With Purifier for Environment Protection”, Sustainable Energy and Environmental Technologies, pp.94-98, 2000.
- [12] S. Fellahi, A. Meddad, B. Fisa and B.D. Favis, “Weldlines in Injection-Molded Parts: A Review”, Advances in Polymer Technology, Vol. 14, No.3, pp.169-195, 1995.
- [13] S.C. Chen, H.S. Peng, J.A. Chang and W.R. Jong, “Simulations and Verifications of Induction Heating On a Mold Plate”, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol.31, Issue 7, pp.971-980, 2004.
- [14] D. Yao, M. Chen, B. Kim, “Development of Rapid Heating and Cooling Mold Inserts Comprising A Heating Layer An Insulation and Substrate”, SPE ANTEC Tech. Paper, pp.704-708, 2001.
- [15] D. H. Kim, M.H. Kan and Y. H. Chun, “Development of A Notebook PC Housing by Using MMSH (Momentary Mold Surface Heating) Process”, SPE ANTEC Tech. Paper, pp.3347-3350, 2001.
- [16] Ono Sangyo Co., Ltd., Tokyo, “Mold Device for Injection Molding of Synthetic Resin”, United States Patent, Patent No.: US 6,752,612, 2004.
- [17] A. I. Isayev and D. L. Crouthamel, “Residual Stresses Development in The Injection Molding of Polymers,” Polym. Plast. Technol. Eng., Vol. 22, pp.177-232, 1984.

- [18] 黄峡宏，余敏强，周持兴，「聚合物注塑残余应力研究进展」，力学进展(Advances in Mechanics)，Vol.30, No.2, pp.272-282, 2000。
- [19] S. C. Chen and Y. C. Chen, “Calculations of the Flow-induced Residual Stress Development in the Injection Moulded Plate”, Computers & Structures, Vol. 52, No5, pp. 1043-1050, 1994.
- [20] X. Chen, Y.C. Lam and D.Q. Li, “Analysis of Thermal Residual Stress in Plastic Injection Molding”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.101, Issues 1-3, pp.275-280, 2000.
- [21] O. Denizart, M. Vincent and J. F. Agassant, “Thermal Stresses and Strains in Injection Moulding: Experiments and Computations”, Journal of Materials Science, Vol.30, pp.552-560, 1995.
- [22] S.Y. Yang and M.Z. Ke, “Influence of Processing on Quality of Injection-Compression-Molded Disks”, Polymer Engineering and Science, Vol.35, pp.1206-1212, 1995.
- [23] 王泯玟，「淺談超高速射出成形技術」，機械工業雜誌技術專刊，pp.106-113，民國八十九年。
- [24] M. Thomas and J. R. White, “The Effect of a Temperature Gradient on Residual Stresses and Distortion in Injection Molding”, Polymer Engineering and Science, Vol.24, No.4, pp.227-241, 1984.
- [25] S. Choi and L. J. Broutnan, “Residual Stress in Plastic Pipes and Fittings IV. Effect of Annealing on Deformation and Fracture Properties”, Polymer(Korea), Vol.21, No.1, pp.93-102,1997.
- [26] B. S. Thakkar and L. J. Broutman, “Impact Strength of Polymers.3: The Effect of Annealing on Cold Worked Polycarbonates”, Polymer

Engineering and Science, Vol.21, No.3, pp.155-162, 1981.

- [27] F. Yang, A. Wang and Y. Zhang, “Analysis and Control of Internal Stress in Shell and Cover of Plastic Alkaline Storage Battery”, Engineering Plastics Application, Vol.33, pp.37-43, 2005.
- [28] 川田株式會社，“ECOMAK”，IPF 2002，川田株式會社，2002。
- [29] 蔡毓斌，「模具設計合理化」，模仁科技股份有限公司，民國九十四年。
- [30] International Mold Steel, Inc., <http://www.imsteel.com/pdf/porcerax.pdf>.
- [31] Sumitomo (SHI) Demag, http://www.sumitomo-shi-demag.eu/solutions/injection_compression_moulding/.
- [32] 宋玉恒，塑料注射模具设计实用手册，航空工业出版社，38-175 頁，1994。
- [33] H. Rees, Mold Engineering, Carl Hanser Verlag, pp.169-245, 2002.
- [34] 蔡毓斌，“射出成形模具之加熱冷卻裝置”，中華民國新型專利 M295582，民國九十五年。
- [35] 林道榮，「均熱板於資訊產品散熱之應用」，COMPOTECH Asia 電子與電腦雜誌繁體中文版，民國九十七年。
- [36] Celsia, http://www.celsiatechnologies.com/nanospreader_technology.asp.
- [37] H. Hojo, H. Masumori, Y. Kageyama and T. Takahashi, “Shearing of Thermoplastic Polymer Sheets at Room Temperature”, Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity, Vol. 9, No.88, pp.304-313, 1968.
- [38] 鳴滝朋，コストダウンのための射出成形不良の原因と対策，シグマ出版社，pp，151-180，1999。

- [39] 郭振彬，張建安，熊秉傑，實用塑膠模設計與製造，徐氏基金會，10-50 頁，民國八十五年。
- [40] W. L. Krueger and Z. Tadmor, “Injection Molding into a Rectangular Cavity with Inserts”, Polymer Engineering and Science, Vol. 20, No. 6, pp.426-431, 1980.
- [41] Battenfeld GmbH, “Bonding of Plastics”, NPE 2000, Battenfeld GmbH, 2000.
- [42] Advanced Polymer Alloys/ Division of Ferro Corporation, Guide To Overmolding With Melt Processible Elastomers (MPEs), Advanced Polymer Alloys/ Division of Ferro Corporation, APA Overmolding Guide, pp.4-6, 2006.
- [43] Toray Engineering Co., 3D TIMON Extreme Suite 2008 / 3D TIMON-INSERT Manual, Toray Engineering Co., pp.3-23, 2008.
- [44] 蔡毓斌，徐瑞坤，蘇嘉宏，「嵌入成型製程之殘留應力與嵌入成型件破壞之研究」，台灣區模具工業同業公會 模具技術與論文發表會，民國九十五年。
- [45] J. Rotheiser, Joining of Plastics Handbook for Designers and Engineers, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. kG, pp.316-327, 2004.
- [46] GLS Corporation, Overmolding Guide, GLS Corporation, pp.6-9, 2004.
- [47] N. Mekhilef, A. Ait-Kadi, and A. Ajji, “Effect of Processing Conditions on Mechanical Properties of Polycarbonate-Polyethylene Blends”, 49th Annual Technical Conference-ANTEC'91, Vol. 37, pp.1118-1123, 1991.
- [48] N. Merah, M. Irfan-ul-Haq and Z. Khan, “Temperature and Weld-line Effects on Mechanical Properties of CPVC”, Journal of Materials

Processing Technology, Vol.142, Issue 1, pp.247-255, 2003.

- [49] 蔡毓斌, 「加熱裝置」, 中華民國新型專利 M351142, 民國九十八年
- [50] P. J. Withers and H. K. D. H. Bhadeshia, “Overview Residual Stress Part 1 – Measurement Techniques”, Materials Science and Technology, Vol.17, pp.355-365, 2001.
- [51] R.G. Treuting and W.T.Read,Jr., “A Mechanical Determination of Biaxial Residual Stress in Sheet Materials”, Journal of Applied Physics, Vol.22, No.2, pp.130-134, 1951.
- [52] J. Mathar, “Determination of Initial Stresses by Measuring the Deformation Around Drilled Holes”,Transactions of The ASME, Vol.4, pp.249-254,1934.
- [53] Y. Niitsu, K. Ichinose and K. Gomi, “Experimental Stress Analysis of Stressed Glass Plate by Shear Difference Method and Laser Photoelasticity”, The Japan Society of Mechanical Engineers, No.97-0852, pp.696-702, 1998.
- [54] A. Bagchi, P. K. Wright, “Stress Analysis in Machining with the Use of Sapphire Tools”, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 409, No. 1836, pp. 99-113, 1987.
- [55] 黃忠良, 「精密剪斷加工」, 復漢出版社, 民國九十一年。
- [56] 燦達電子工業股份有限公司, <http://www.hr-connector.com.tw/>。
- [57] Master Tool Co. Inc., http://www.mastertoolusa.com/insert_molding.htm.
- [58] Tapecon Inc., <http://www.tapecon.com>.
- [59] 蔡毓斌, 「NPE 2000 的回顧」, 歐磊科技股份有限公司, 民國八十九年。
- [60] 泓歲科技有限公司, 「3D TIMON 軟體簡介 – 嵌入成形模組」, 3D

TIMON 簡介，民國九十四年。

- [61] Flow Science, Inc., FLOW-3D User Manual Version 9.0, Flow Science, Inc., 2006.
- [62] Toray Engineering Co., Ltd., 3D TIMON Extreme Suite Reference Manual, pp.8-16, 2008.
- [63] Y.P. Tsai, J.C. Wang and R.Q. Hsu, “The Effect of Vapor Chamber in an Injection Molding Process on Part Tensile Strength”, Experimental Techniques, 2010.
- [64] Tsai, Y.P. , A.T. Lee and R.Q. Hsu, “A Study on the Heating and Cooling Cycle System via Vapor Chamber in Injection Molding Process”, Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, Vol.4, pp 2510-2513, 2007.
- [65] Y.P. Tsai, J.C. Wang; T.Y. Huang and R.Q. Hsu, “The Effects of Rotor Incorporated Mold for the Elimination of the Welding Line in Injection Molding”, SPE ANTEC Tech. Paper, Vol.3, pp1578-1581, 2008.
- [66] 蔡毓斌，黃大益，徐瑞坤，「添加金屬粉末之塑膠射出成型研究」，FLOW-3D 台灣使用者大會 論文發表會，民國九十五年。
- [67] Y.P. Tsai, C.F. Hsu and R.Q. Hsu, “Study on the In-Mold Punching of the Thermoplastic Injection Molding”, SPE ANTEC Conference Proceedings, Vol.5, pp.2986-2990, 2009.
- [68] 胡偉強，徐瑞坤，「潛水用呼吸調節器之分析與改良」，國立交通大學碩士論文，民國九十六年。
- [69] P. Wolfinger, SCUBA Regulator Ssvvy,A division of Peter Built Co.,Galion,Ohio,USA, 2004.

[70] M. J. Gordon Jr., Industrial Design of Plastics Products, pp.159-175, John Wiley & Sons, Inc., 2003.

[71]國立交通大學機械工程學系 材料物性與成形實驗室，「材料輕量化計畫」，產學合作計畫（台灣山葉機車工業股份有限公司），民國九十五年。

[72] Y.P. Tsai, J.J. Wei and R.Q. Hsu, “The Research of Reduce Residual Stress of Polycarbonate Products by Heat Treatment”, Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, Vol.4, pp 2051-2055, 2009.

