

第三章 實驗設計及規劃

3.1 實驗暨實驗用模具的設計

本研究設計了一可對模具內的成形材料進行剪切形操作的實驗，其模具設計的概念，主要是在模具上設計一組油壓驅動之往復機構，於射出成形保壓階段中，啟動往復剪切機構推擠模穴內的熔融高分子材料，使高分子材料在模穴內之緊縮段產生高剪切作用，而達到模內剪切操作的目的。

模穴之設計採一模二穴、上下對稱的形式，形狀上為適用於塑膠之拉伸試驗的試片，其尺寸參考 ASTM D638 之標準規範[26]，外形尺寸如圖 3.1 所示。

模具之模座採用台灣富德巴公司 (FUTABA) 生產之 MDC SA 2030 60 60 60 SA 之標準模座，材質為 S45C；模仁材料採用 P20 的鋼材；模具上設計有一組油壓驅動往復剪切機構、八支電熱管、二組冷卻水路、四支熱電偶、一組壓電式壓力感測器及一組熱澆道系統，完整設計圖如附錄一。

油壓驅動之往復剪切機構示如圖 3.2 所示，模具上下端各有一固定式的襯套，四邊形支架與襯套間可作上下的相對滑動；在模穴上下兩端各有一支 $\phi 12$ 的擠壓桿，藉由與四邊形支架的連接固定，可作上下同步之往復運動，本實驗裝置有別於以往所做的相關研究中，採用 Qing Guan 等所設計之動態保壓射出模具 (Dynamic Packing Injection Molding, DPIM) [27]，如圖 3.3 所示。本設計不但簡化過去需要二支油壓缸之機構與控制，且更能確保上下兩擠壓桿移動時的同步性，且可大幅提升剪應變率之實驗參數等優點，改進以往無法達到高剪應變率的限制。

在油壓系統設計方面，由設定之剪切應變率要求須可達到 1000 s^{-1} ，在理論計算方面由 3-1 式可推算出受剪切之斷面的流體速度，再根據連續方程式 3-2 式得到油壓缸速度；依照油壓缸之行程、速度與出力大小，正確地選用油壓馬達、幫浦吐出量及工作壓力，詳細規格

如表 3.1 所示，油壓動力單元如圖 3.4 所示。

$$\dot{\gamma} = \frac{V_s}{h/2} \quad (3-1)$$

$\dot{\gamma}$ ：剪應變率， h ：斷面厚度， V_s ：受剪切斷面流體之速度
 $V_f A_f = V_s A_s$ (3-2)

V_f ：油壓缸速度， A_f ：油壓缸出力斷面之面積

剪應變率量測部分，將位移計（potential meter）安裝於模具油壓缸上（圖 3.5），並配合資料擷取裝置同步記錄油壓桿位置與時間之數據，並計算出在剪切操作時的實際剪應變率。

模具溫度控制方面，使用二支 K 型熱電偶分別量測公母模板溫度，並分別由溫度控制器控制電熱管進行模具的加熱，使模具達到所設定之溫度。當實驗需要降低模具溫度時，啟動模溫機並同時切斷電熱管加熱，藉由循環之冷卻水帶走模具內部的熱量，而達成模具溫度控制的目的。模穴內部溫度與壓力之監測分別採用熱電偶與壓電式壓力感測器由 iNet100B 資料擷取盒直接記錄溫度及壓力值，以監控模穴內部實際加工參數的設定。

模具加熱部份，為了達到部份工程塑膠（如：PC 等）之高玻璃轉移溫度（ T_g ）及熔融溫度（ T_m ），公母模板分別採用四支電熱管，加熱功率共達 8800 瓦特，經過實驗測試，在加熱二十分鐘時模具溫度即達 200°C 以上。澆道部分亦採用熱澆道的設計，選用鉸鴻公司所生產之 GF3C 型熱澆道，可避免高溫之工程塑膠因低溫固化而導致阻塞澆道，此外在保壓階段剪切操作時，也因熱澆道的功能發揮作用，使料管能夠長時間地維持模穴內的保壓力。

模具上電熱管與冷卻水路位置設計上除了必須考慮模具導梢、回位梢及螺絲之孔位外，尚得以對稱性設計之考量來避免公母模板在溫度控制時之暫態溫度分佈不一，以致於不易達到穩態之溫度分佈；公母模板厚度尺寸亦須一致，以維持溫度控制時，合模面法線方向上的溫度梯度控制的一致性。在射出成形過程中，因高分子聚摻物的加工

溫度非定值，適當地設定模具溫度，可促使其加工成形順暢及形態分佈的均勻，且為了迅速且確實地完成各種加工條件之剪切操作實驗，溫度邊界條件的控制須十分精確，故將水路設計於接近模穴的位置，以便快速完成模穴溫度的控制。模具上的水路與電熱管的位置如圖 3.6 所示。

3.2 實驗裝置

◎ 射出成形機

本實驗使用之射出成形機為德國 ARBURG 公司所生產，其型號為 ALLROUNDER 270S，外觀如圖 3.7 所示。其射出螺桿直徑為 22mm，最大射壓為 2320 bar，鎖模方式為油壓驅動鎖模，最大鎖模力可達 350 噸；L/D 比 20。

此射出成形機具有閉迴路之油壓控制系統，操作者藉由電腦視窗可直接編輯成形時所設定之參數與程序，包括改變射出壓力、射出速率、保壓力、保壓時間、射出量、塑料溫度及冷卻時間等參數，其機器規格如表 3.2 所示。

◎ 模具溫度及油壓控制系統

使用日本 OMRON 公司所生產之 E5CK 型溫度控制器，搭配 KYTTO 公司所生產之 SSR 固態繼電器，其可耐負載達 220V 及 25A 之電氣特性，自行組裝而成的溫度控制系統，如圖 3.8 所示。

油壓控制方面，利用極限開關 (limit switch) 配合繼電器之作動，輸出訊號至油壓電磁閥，控制油壓缸的往復運動，達到模內剪切操作的目的。詳細電路如圖 3.9 所示。

◎ 壓電式壓力感測器

使用 KISTLER 公司生產之 6157BB 型壓電式壓力感測器 (圖 3.10)，係為射出成形模具所設計之高精密度壓力感測器，可量測高溫環境下的模穴壓力，規格如表 3.3 所示。

◎ 資料擷取裝置

由美國 GW INSTRUMENTS 公司所生產之 #iNet100B 資料擷取

盒，其可以直接量測熱電偶、應變規、熱敏電阻、電流、電壓及電阻等訊號，並具有 8 通道 (channel) 類比訊號輸出及 8 條數位訊號 I/O 線。隨機附免費之專用軟體，可提供長條圖及示波圖之顯示，且每一頻道具有獨立之類比濾波、積分時間、取樣率及數位訊號濾波等設定，對於其他套裝軟體如 Labview 等，亦提供軟體下載使用。

◎ 模溫機

暉吉實業有限公司所生產之水冷式模具溫度控制機，其具有兩組降溫水路提供模具進行冷卻。

◎ 雙螺桿攪混機

弘煜機械所生產之 PYSO-30-36-2V 型攪混機，功率 10H.P.，轉速為 0~400 rpm。

◎ 電腦伺服控制材料試驗機

使用弘達儀器公司，機型為 HT-2102A 之電腦伺服控制材料試驗機，進行成形試片之拉伸試驗，規格如表 3.4 所示。



3.3 實驗材料

3.3.1 ABS 塑膠粒

ABS 由丙烯腈(Acrylonitrile)、丁二烯(Butadiene)和苯乙烯(Styrene)共聚合而成，一般丙烯腈的比例含量愈高，其耐熱性、剛性及耐溶劑性愈佳，丁二烯具有橡膠的韌性，苯乙烯則具有高硬度特性。ABS 本身具有良好的耐衝擊性、成型性、電鍍性，並且可利用其三種成分依不同比例組合可得不同需要的性質，若與其他樹脂攪混使用，可增強加不同產品所需的功能及用途，且具有價格優勢，其本身所具有之物性均勻，故廣泛應用於許多工業生產途上。

由於 ABS 在射出成形時，其加工成形性及尺寸安定性非常穩定，故 ABS 樹脂常與 PC 進行攪混，以進行材料內部改質。

本實驗選用的日本三菱工程塑膠 (Mitsubishi Engineering-Plastic Corp.) 所製造之 ABS 樹脂，材料等級為 U-400。材料性能如表 3-5。

ABS 材料加工溫度範圍如下：

熔膠溫度：180°C～260°C

模具溫度：50°C～60°C

烘料溫度：85°C(3 小時)

3.3.2 聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)

聚碳酸酯樹脂 (PC)是高分子結構中含碳酸酯聚合物的總稱，為一種非結晶性熱可塑工程塑膠，具有優異的透明性和耐熱溫度，以及熱可塑性樹脂中最高的耐衝擊強度；其具有寬廣的使用溫度和耐燃性，可於 125°C 下連續高溫使用而不變質，最適用於高精密度和尺寸安定性之成品要求，例如：光碟、太陽眼鏡、光學安全鏡片、汽車車燈及零組件、事務機器、家電產品、電子零件、食品器具、醫療器材、採光建材和用於替代金屬之通信設備用品上，為目前最廣為應用之工程塑膠之一。

本實驗所用 PC 材料，為日本出光公司所生產，產品型號 IR2200 的聚碳酸酯。此材料性能如表 3.7。

PC 材料加工溫度範圍如下：

熔膠溫度：260°C～340°C

模具溫度：70°C～120°C

烘料溫度：120°C(3 小時)

3.3.3 PC/ABS 商用級規格品 (MB1800)

商用級 PC/ABS 聚摻物，日本三菱工程塑膠 (Mitsubishi Engineering-Plastic Corp.)，產品型號 MB1800，其產品膠粒中已預先加入了相溶劑、防火劑摻混而成，其摻混比例不詳，配方目前仍為該公司之機密，惟已廣泛使用於生產各種筆記型電腦的機殼。

3.4 實驗方法

將 PC/ABS 聚摻物分別以 80/20、60/40、50/50、40/60、20/80 之重量百分比，使用雙螺桿摻混機進行摻混，料管溫度設定為 250°C，

熔融塑料在料管內約 3 分鐘後由模頭擠出，並經水槽冷卻，再直接由造粒機將條狀塑料切割成顆粒狀，依此相同流程重複二次，將聚摻物均勻摻混，並將材料烘乾保存。

將實驗用模具安裝於射出成形機上，安裝完成如圖 3.11 所示。在射出成形前聚摻物在料斗中，須以 90°C 連續烘乾 12 個小時，以去除塑料內部的水份。熱澆道及模具溫度分別設定在 250°C 及 180°C。；射出成形過程先後經歷可塑化鎖模、射出、保壓、冷卻及脫模，並在保壓階段中啟動往復式油壓剪切機構，直接對於模穴內的熔融塑料施加剪切操作，其加工參數包括射出壓力、保壓力、保壓時間、剪切操作時間及模具溫度等，如表 3.7 所示。依此流程成形出施加剪切操作的拉伸試片，至於未施加剪切操作的試片，則於保壓階段未啟動剪切，其餘成形過程均相同。由射出機所成形之標準拉伸試片，則使用高分子材料試驗機進行抗拉強度測試。



表 3.1 油壓動力單元之規格

品名	規格
馬達	3HP x 4P
輪葉幫浦	HVP30，吐出量 30 l/min， 工作壓力 140 bar
油壓缸	φ 50 x 300mm 雙心可調式

表 3.2 射出成形機之規格

	項目	單位	數值
射出單元	螺桿直徑	mm	22
	理論射出容量	cm ³	30
	最大射出壓力	MPa	232
	最大射出速率	cm ³ /s	78
	最大射出力量	kN	30
	射出馬力	kW	13.7
鎖模單元	鎖模力	ton	50
	最大鎖模行程	mm	350
	最大容許模高	mm	525
	最大容許模板尺寸	mm	270 X 270

表 3.3 壓電式壓力感測器規格

項目	單位	數值
量測範圍	bar	0~2000
超載極限	bar	2500
均勻靈敏度	pC/bar	-9.4
線性度	% FSO	$\leq \pm 1$
自然頻率	kHz	≈ 100
加速靈敏度	bar/g	<0.005
連接器操作溫度	°C	0~200
模溫範圍	°C	0~300
料溫範圍	°C	<450
重量	g	26

表 3.4 HT-2102A 電腦伺服控制材料試驗機之規格

容量選擇	kN	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
	kgf	10	20	50	100	200	500	1000
單位切換	力量	N, kN, g, kg, ton, lb						
	位移	mm, cm, inch						
荷重分解度	1/20,000							
荷重精度	$\pm 0.5\%$							
力量放大倍率	x1, x2, x5, x10 (自動分段)							
測試速度範圍 (mm/min)	0.5~500							
速度精度	$\pm 0.5\%$							
位移分解度 (mm)	0.001							
動力控制	AC 伺服馬達 / 伺服驅動器							

表 3.5 日本三菱 U400 ABS 材料性能

性能 Property	測試方法 Test Method	測試條件 Condition	單位 Units	
衝擊強度(缺口) Charpy Impact Strength	ISO179	23°C -30°C	kJ /m ²	8 3
拉伸強度 Tensile Strength	ISO 527	23°C	MPa	49
拉伸模量 Tensile Modulus	ISO 527	23°C	MPa	2150
彎曲強度 Flexural Strength	ISO 178	23°C	MPa	63
彎曲模量 Flexural Modulus	ISO 178	23°C	MPa	2300
硬度 Rockwell Hardness	ISO 2039	23°C	R-Scale	113
熱變形溫度 T.D.U.L.	ISO 75	1.82MPa	°C	78
密度 Density	ISO 1183		g/cm ³	1.14
熔融指數 Melt Index (M. I.)	ISO 1133	0. 220°C 98N	cm ³ /10min.	5
模具收縮率 Mold Shrinkage	ISO 294-4	----		0.4-0.6
線性膨脹係數 C.L.T.E.	ISO11359-2		cm/cm/°C) (x10-5)	8

表 3.6 日本出光 IR2200 PC 材料性能

性能 Property	測試方法 ASTM	測試條件 Condition	單位 Units	
衝擊強度(缺口) Charpy Impact Strength	D256	3.2mm notched	Kg,cm/cm	80-100
拉伸強度(降服點) Tensile Strength (Yield Point)	D638		kg/cm ²	600-700
拉伸模量 Tensile Modulus	ISO 527		kg/cm ²	21000-23000
彎曲強度 Flexural Strength	D790		kg/cm ²	800-920
彎曲模量 Flexural Modulus	D790		kg/cm ²	2200-24000
硬度 Rockwell Hardness	D785		R-Scale	120-125
熱變形溫度 T.D.U.L.	D648	18.6 kg/cm ²	°C	134-135
比重 Density	D792			1.20
熔融指數 Melt Index M.V.R	ISO 1133	0.220°C 98N	cm ³ /10min.	16
模具收縮率 Mold Shrinkage	D955	----		0.5-0.7
線性膨脹係數 C.L.T.E.	D696		cm/cm/°C) (x10-5)	6.0-6.5

表 3.7 射出成形之加工參數

加工參數	參數範圍
射出壓力	800bar
保壓力	800bar
保壓時間	15 秒
剪切操作時間	10~12 秒
模具溫度	180°C
塑料溫度	250°C
平均剪切應變率	700 s ⁻¹

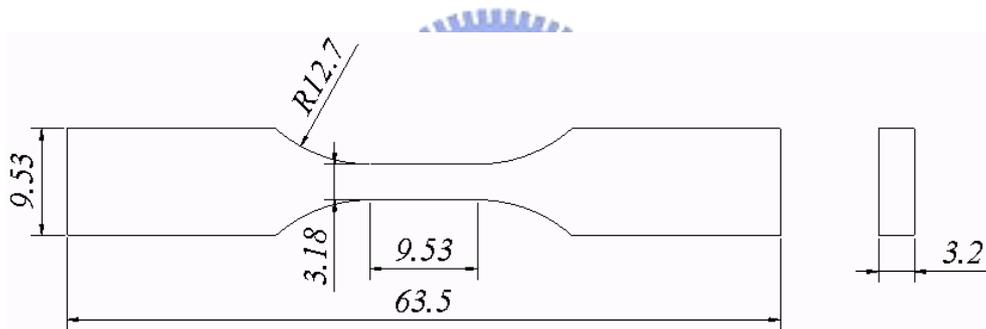


圖 3.1 ASTM D638 IV型標準拉伸試片尺寸

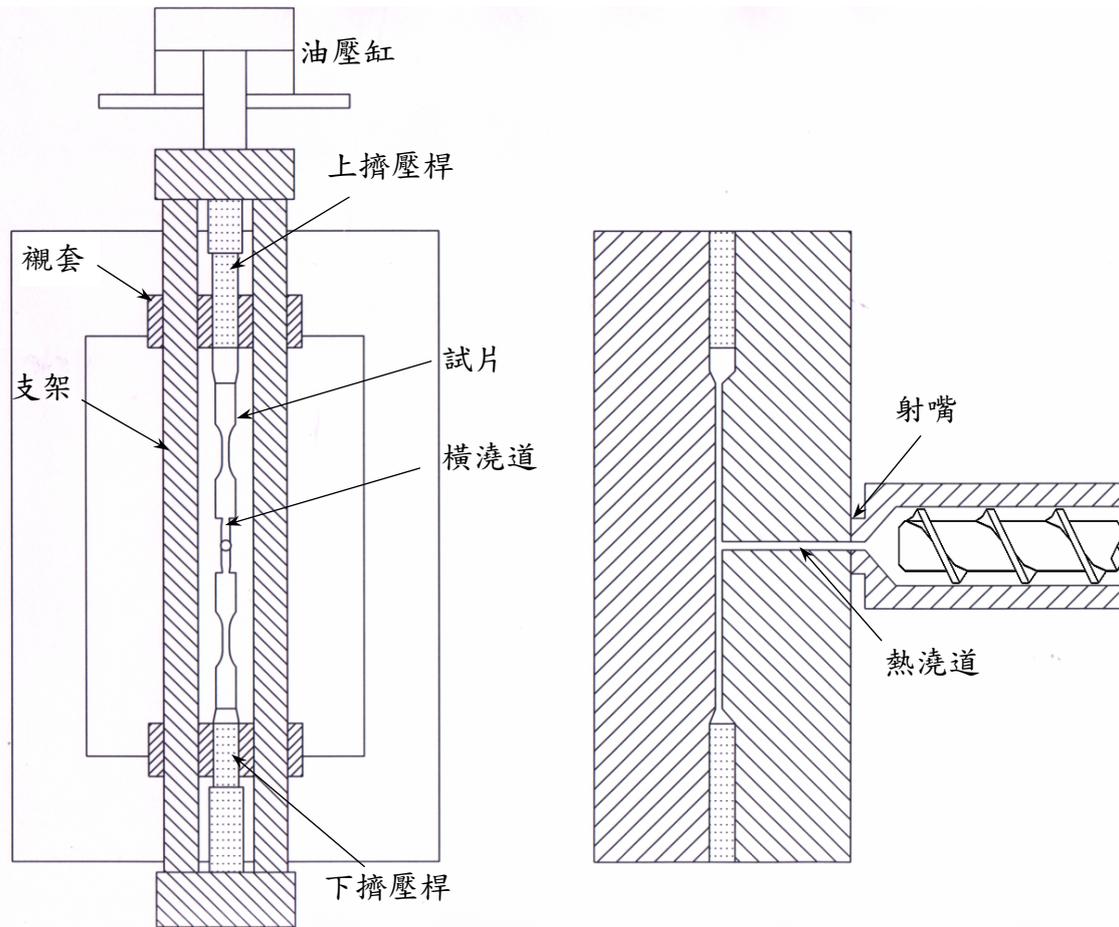


圖 3.2 往復式剪切機構示意圖

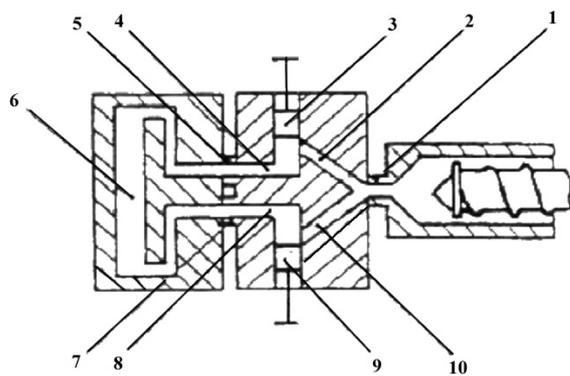


圖 3.3 動態射出模具 (DPIM) 示意圖

(1) 射嘴、(2) 豎澆道 A、(3) 油壓缸 A、(4) 橫澆道 A、
 (5) 接觸面、(6) 試片模穴、(7) 接觸面、(8) 橫澆道 B、(9)
 油壓缸 B、(10) 豎澆道 B。

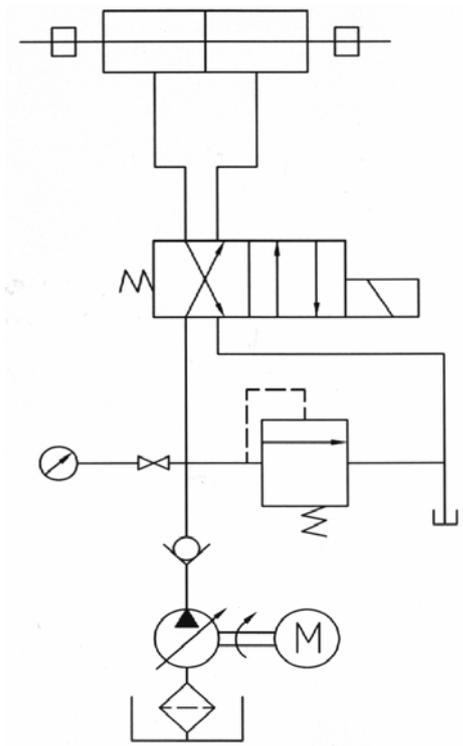


圖 3.4 油壓動力單元之迴路圖



圖 3.5 位移計安裝位置

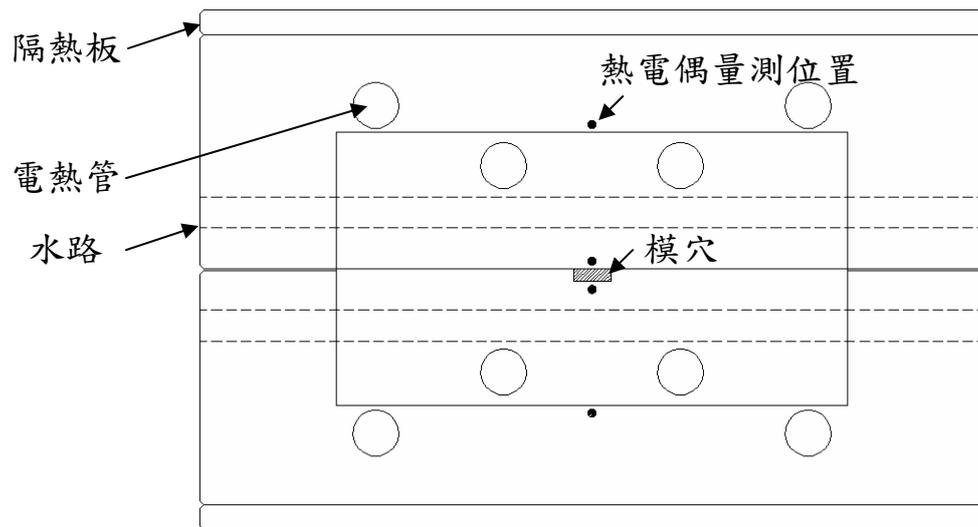


圖 3.6 模具內電熱管、水路及熱電偶量測位置示意圖



圖 3.7 德國 ARBURG ALLROUNDER 270S 射出成形機

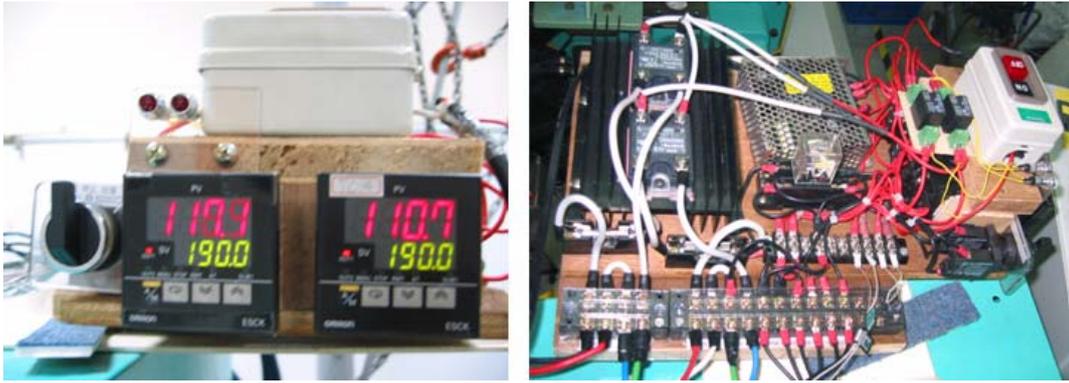


圖 3.8 模具溫度及油壓控制系統

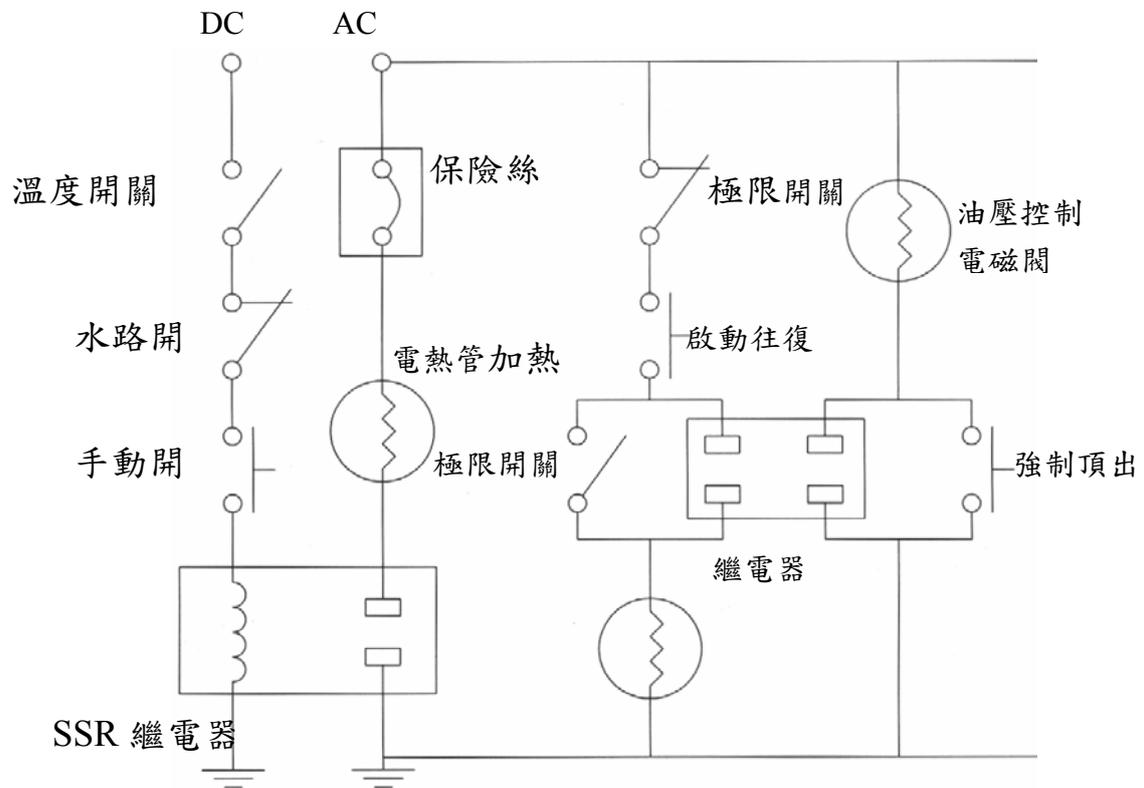


圖 3.9 溫度暨油壓控制系統電路圖

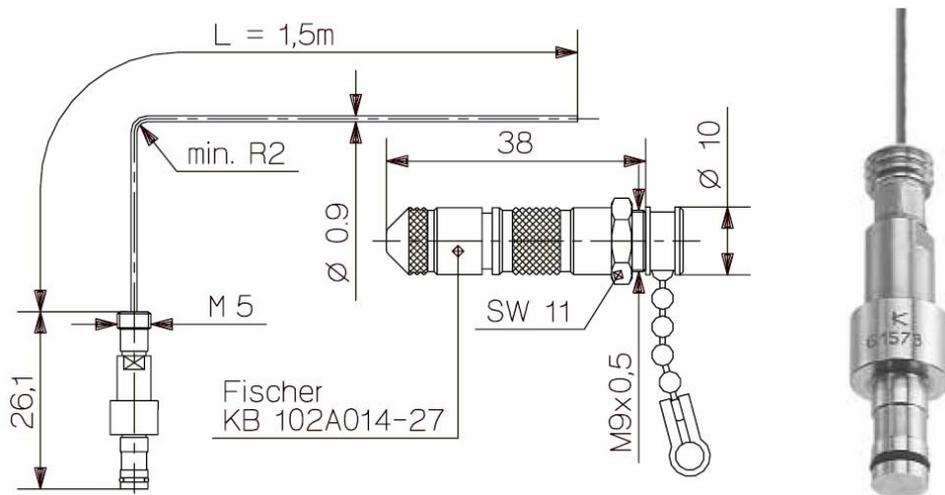


圖 3.10 壓力感測器外觀與尺寸



圖 3.11 安裝於射出機上之剪切試驗模具