

### 第三章 實驗方法與步驟

本研究共分為三部份：一為熱裂性試驗；一為角變形研究、一為殘留應力量測。圖 3-1 為本研究之流程圖，以下就熱裂性試驗及變形及殘留應力量測兩部份分別說明實驗之方法與步驟。

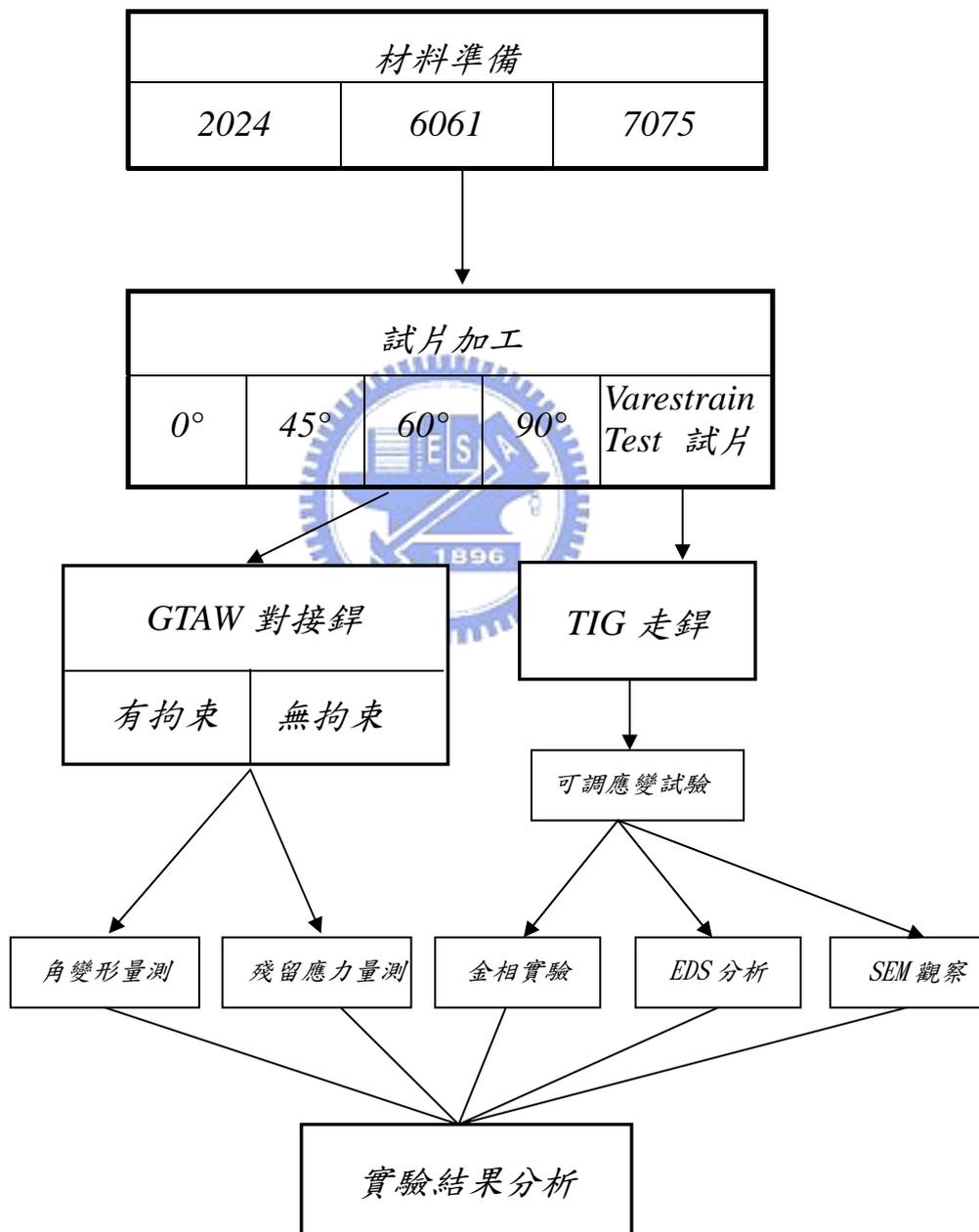


圖 3-1 實驗流程圖

### 3.1 熱裂性試驗

#### 3.1.1 實驗材料

本研究使用之材料為熱處理型鋁合金 6061-T6 及 7075-T6 板材，試片尺寸為 200X40X3.0mm，另將兩種材料實施 30%冷加工，並分別以 6061-T6(H)及 7075-T6(H)表示，材料之規格成份及經 EDS 分析之成份如表 3-1。

表 3-1 Chemical composition of 6061-T6 and 7075-T6 aluminum alloys, wt%

	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
6061-T6(actual)	0.82	1.51	0.24	0.22	0.26	0.62	0.16	---
6061-T6(specification)	0.8-1.2	0.4-0.8	<0.15	0.04-0.35	<0.15	<0.7	0.15-0.4	<0.25
7075-T6(actual)	1.75	0.45	0.12	0.05	0.49	0.84	1.72	5.98
7075-T6(specification)	2.1-2.9	<0.5	<0.2	0.18-0.4	<0.3	<0.7	1.2-2.0	5.1-6.1

#### 3.1.2 走鐸操作

本研究以半自動 GTAW 為鐸接方式，以直徑 2.4mm 之鎢鈦電極棒先於試片上進行一次及二次不加填料之走鐸，再將鐸道表面磨平，以作為 spot on bead(SOB)之試片。經參考相關研究之鐸接參數值，並經過實際試鐸的測試與修正，獲得所需之最佳鐸接參數，相關之鐸接參數如表 3-2 所示。

表 3-2 鐸接參數表

電流 (A)	起弧電壓 (V)	走鐸速度 (mm/min)	氬氣流量 (l/min)
125	5	250	20

### 3.1.3 點可調式應變試驗 (Spot Vareststraint Test)

本研究利用 GTAW 進行點銲式可調應變銲接熱裂測試，實驗用之機型為自行研發之多功能可調應變試驗機，GTAW 之銲鎗可經由程式控制作 X 軸、Y 軸及定點式之移動，機台上不同弧度之模塊可配合作 X 軸或 Y 軸方向置放，而施加應變之油壓機構可設定衝程以配合模塊將材料彎曲成模塊曲率半徑之彎曲弧度，同時亦可更換模具並將油壓機構設定為單動來進行 Longitudinal Vareststraint Test。因此本機可進行點銲式可調應變試驗、Longitudinal Vareststraint Test、X 軸走銲及 Y 軸走銲之 Vareststraint Test，為一多功能之熱裂測試機器，如圖 2-16 所示。本研究係以點銲式可調應變測試為主，分別對未走銲(一次熱循環)、一次走銲(二次熱循環)及二次走銲(三次熱循環)之試片中心點進行點銲(如圖 3-2 所示)，並分別施以 1.5%、2 % 及 3% 之外加應變，點銲及實驗之相關參數如表 3-3 所示。

表 3-3 可調應變試驗銲接參數表

電流 (A)	點銲時間 (sec)	氬氣流量 (l/min)	熄弧後下壓 時間(sec)	應變量 (%)
125	5	20	0.1	1.5、2.0、3.0

### 3.1.4 熱裂縫觀察與計算

將完成可調應變試驗之試片，利用實體顯微鏡觀察熔融區及熱影響區之熱裂縫，並利用電腦影像擷取及量測軟體來量測與計算在不同之外加應變量、不同之熱循環次數下之各試片熔融區與熱影響區之熱裂縫長度，以探討其熱裂敏感性，並以裂縫總長度(Total Crack Length, TCL)作為評估熱裂縫敏感性之指標。

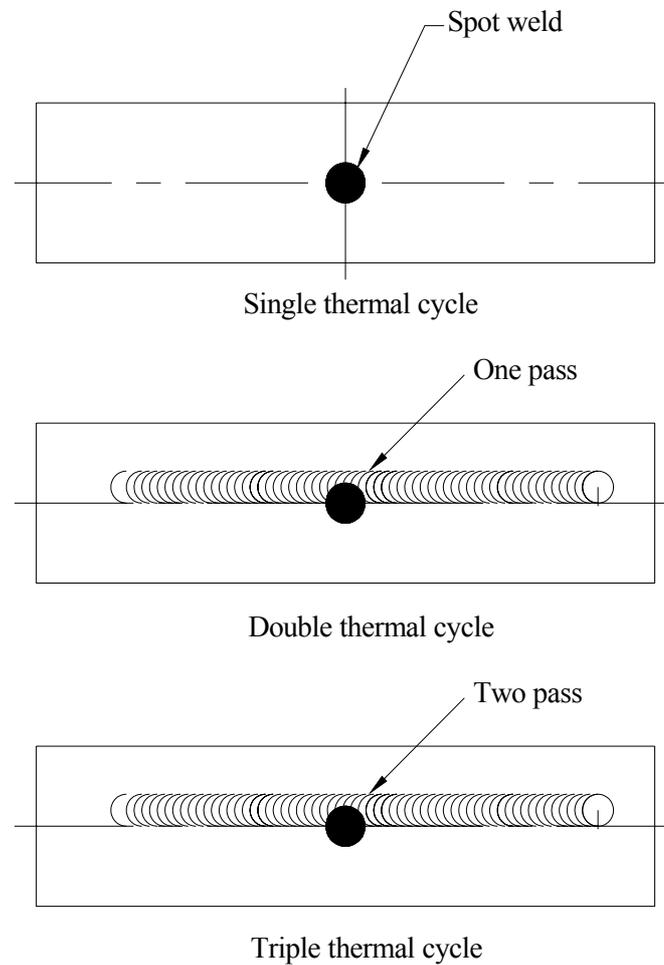


圖 3-2 試片點銲及熱循環示意圖

### 3.1.5 金相組織觀察

將量測完裂縫之各試片從點銲熔融區之中心沿彎曲垂直方向以金相切割機切取試片，使試片包含熔融區、母材熱影響區及銲接金屬熱影響區。試片經冷鑲、研磨、拋光之程序後以 Keller's(2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO<sub>3</sub> + 190ml H<sub>2</sub>O)腐蝕液浸蝕，再使用光學顯微鏡觀察比較不同鋁合金在不同熱循環次數下其銲道與熱影響區之顯微組織差異，以探討其與材料熱裂敏感性之相關性。

### 3.1.6 破斷面 SEM 觀察及 EDS 分析

將完成可調式應變測試之試片裂縫處以 SEM 觀察其破斷面之形態，以確定裂縫之型式、破壞機構，再利用 EDS 對破斷面作元素之分析，觀察是否有元素之偏析現象，以判斷其熱裂之機制。

## 3.2 角變形量及殘留應力量測

### 3.2.1 實驗材料

本實驗使用材料為 2024-T351、6061-T6 及 7075-T6 三種鋁合金板材，試片尺寸為 200mm×60mm×6mm，並以銑床銑切成四種不同之單 V 形槽角度 0°(I 形槽)、45°、60°、90°，如圖 3-3 所示。

### 3.2.2 銲接方式及參數

採用半自動 GTAW 銲接機台搭配自動送線機進行單 V 形槽對接銲，銲件有利用夾具加以拘束(圖 3-4)及不拘束兩種方式，填料採用  $\phi$  1.6mm 之 ER5356 銲線，為獲得較佳之滲透，保護氣體採用 Ar(70%)-He(30%)之混合氣，各項銲接之參數如表 3-4 所示。

本研究主要係探討不同單 V 形槽角度之銲件在有拘束及無拘束之狀況下，其銲後角變形量及殘留應力之差異，因此將銲接之輸入熱量保持一定值(銲接電流、銲鎗走速、氣體流量均相同)，而銲線之送線速度則視單 V 形槽之角度大小而調整，以能完成一完整之銲道為原則。

### 3.2.3 角變形量量測[41]

銲接角變形之量測參照先前研究者曾光宏[41]之方式加以修改，各試片之量測位置如圖 3-5(a)所示。量測時先在 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 及 P<sub>3</sub> 背面位置各鑽一定位孔，並於其下方分別置放一支柱(一根為固定式支柱，其他兩根為可調

表 3-4 單 V 形槽對接銲接參數表

電流極性	電流 (A)	銲鎗走速 (mm/min)	保護氣體及流量	銲線送線速度 (mm/min)
AC	220	340	Ar(70%),He(30%) 10 l/min	400-550

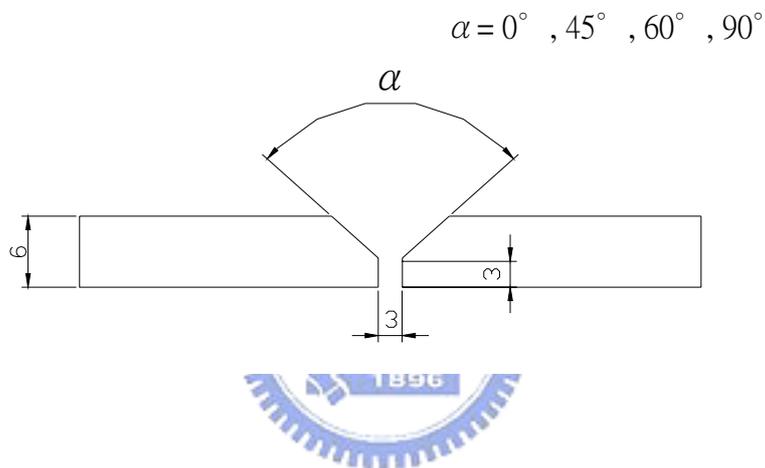


圖 3-3 試片開槽角度示意圖

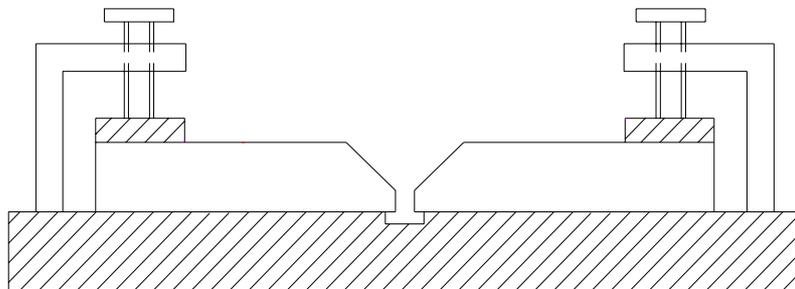


圖 3-4 試片拘束示意圖

式)，利用此三根支柱將  $P_1$ 、 $P_2$  及  $P_3$  調整為同一平面(歸零)，再以高度游標卡尺配合量表量測各測量點與此平面之偏移量，銲接前後各量測一次，將銲接後的量測值減去銲接前的量測值，即為銲接所造成之垂直位移量(或稱變形量)U：

$$U = | [(A+B) - (C+D)] / 2 | \dots\dots\dots(13)$$

其中 A、B、C 及 D 分別為該列五個測量點之平均垂直位移量(或稱平均變形量)，而角變形量  $\delta$  可利用 U 值與  $\overline{AC}$  或  $\overline{BD}$  之三角函數關係求得

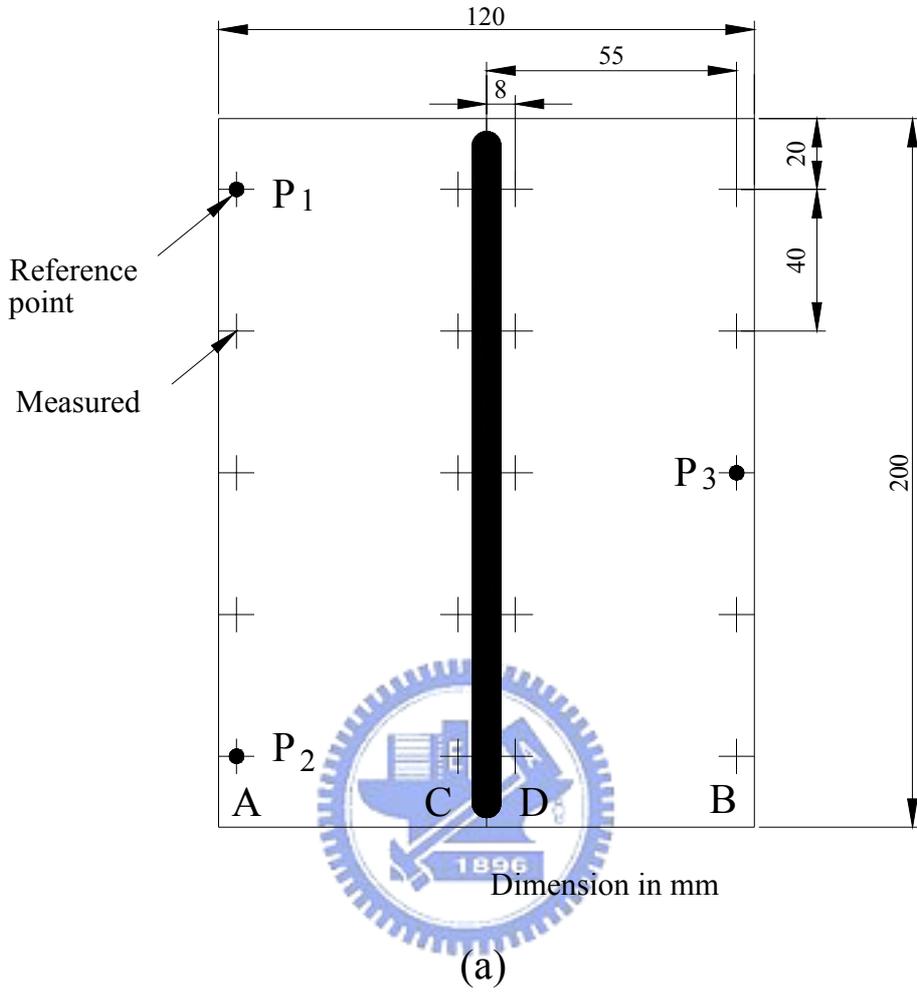
$$\delta = \sin^{-1} \left[ \frac{U}{\overline{BD}} \right], \text{ 如圖 3-5(b) 所示。}$$

### 3.2.4 殘留應力量測

殘留應力量測採用 ASTM 標準 E837 規範的鑽孔應變規法。量測設備採用 Measurements Group, Inc. 出品的 RS-200 Milling Guide、P-3500 Strain Indicator、SB-10 Switch & Balance Unit 及 High Speed Air Turbine Drilling Setup 等，如圖 3-6 所示，應變規亦採用該公司之 EA-13-062RE-120 花型三軸應變規，如圖 3-7 所示。殘留應力的量測位置分別為距銲道中心線 10、20、35 及 50 mm 等四處。

量測時，先將試片以 100 號砂紙磨至 400 號砂紙，再以丙酮清潔試片表面，將應變規黏貼在欲量測位置上，使用錫銲連接應變計與導線，並將導線連接到 Strain Indicator。利用 RS-200 Milling Guide 及 High Speed Air Turbine Drilling Setup，配合碳化鎢刀具於應變計中心鑽一直徑 1.5 mm、深度 2.06 以上之盲孔(因此型應變規之 Grid Centerline Diameter 為 5.13 mm，為使其應變能完全釋放，Z/D 要達 0.4 以上，因此鑽孔深度需達 2.06 mm 以上)。鑽孔後，因應力釋放將使應變規產生應變，最後讀取三軸應變值，便可利

用公式計算出鋁件之殘留應力值。



U: Angular distortion value

A-D Measured value  $\delta = \sin^{-1}(U/\overline{BD})$

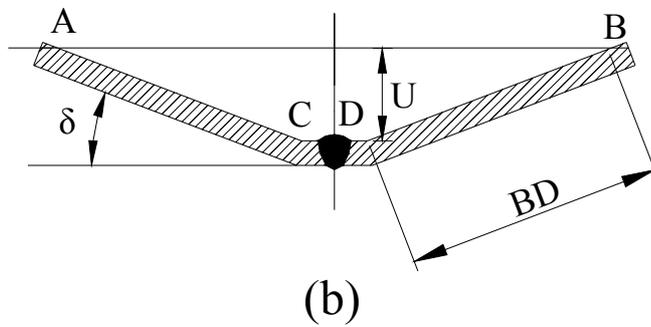
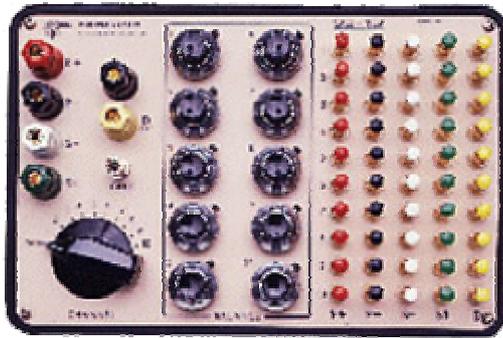
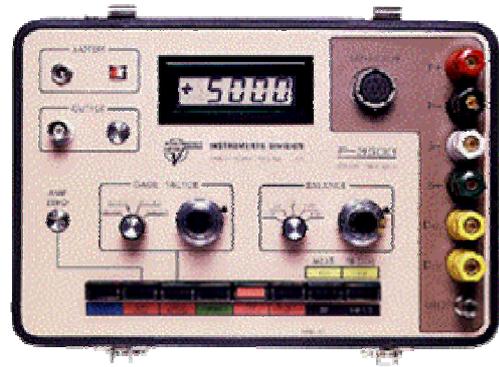


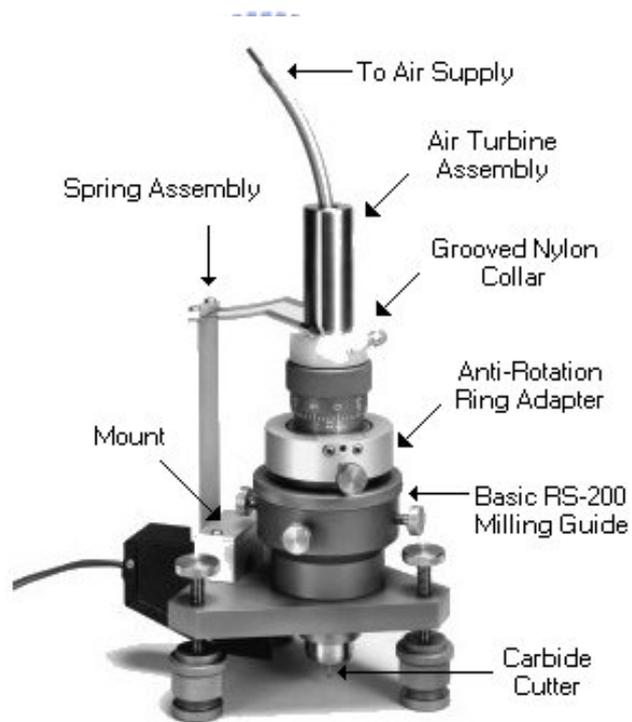
圖 3-5 (a)變形之量測位置與 (b)角變形值之定義示意圖



(a) P-3500 Strain Indicator



(b) SB-10 Switch & Balance Unit



(c) RS-200 Milling Guide High Speed Air Turbine Drilling Setup

圖 3-6 殘留應力量測設備



$D_0=1.5\text{mm}$

$D=5.13\text{mm}$

圖 3-7 EA-13-062RE-120 花型三軸應變規

