

壹、前言

電子構裝由傳統的插腳式，演變為表面黏著式（surface mounting technology），代表的元件為 PBGA, PQFP, CSP 等，基於電子元件朝輕薄短小多功能高功率的發展，具有高 I/O 接點密度的塑封球柵陣列，逐漸取代 PGA（pin grid array），有別於傳統四周引腳的封裝方式，PBGA 以基板及錫球取代傳統的金屬導線架使其接腳數大幅增加，I/O 數較 SOP，QFP 等封裝多好幾倍，PBGA 較 QFP 輕薄短小且有更好的電氣特性，但仍有許多問題存在，如翹曲變形，爆米花效應，破裂與脫層效應[1-2]。

目前 PBGA 已廣泛使用在電子通訊等消費性電子產品上更多的 IC 構裝廠投入製造，所以 PBGA 的可靠性（reliability）的問題扮演非常重要的角色，而可靠性的問題牽涉非常的廣亦複雜，一般分析構裝體的可靠性問題的分析，大多利用實驗或電腦模擬方式，但以電腦模擬分析可節省時間及費用以利於設計，然而在電腦模擬中，材料常數的正確性真實性，對模擬結果與真實情況的接近與否有很大的關係。

對構裝的材料而言，與傳統結構力學分析材料，如飛行器，汽車，因熔點高，很少考慮溫度對因此很材料機械特性的影響，但目前商用電子構裝元件多以價格與製造成本低廉的高分子塑封材料，其特點為玻璃轉換溫度低，機械性質受溫度影響較顯著，如應變率與溫度的影響，在 PBGA 構裝中，錫球的非線性行為及受溫度及應變率影響的研究甚多，但對於高分子材料如基板此方面的研究就比較少。

本文主要在探討 PBGA 構裝材料的塑膠（BT 基板），在不同應變率下的機械行為，以瞭解在實際狀況時高分子塑性材料的機械性質，

並探討 PBGA 構裝材料的 BT 基板中常見的鑽孔設計對基板的機械性質的影響，探討不同的鑽孔設計在拉伸應變率不同的情況下，有何不同的表現，希望能對日益精密的有孔洞設計的多層電路基板的機械性質有更深入的了解，並作為設計上的參考。

貳、研究目的與內容

2.1 研究目的

本篇論文探討在電子構裝中常用的構裝型式 Plastic Ball Grid Array (PBGA)塑膠球腳格狀陣列構裝之基板(substrate)在不同應變率的拉伸測試下，模擬封裝材料再受到熱衝 (thermal shock) 等環境測試下，因材料收縮膨脹所造成的應變率的變化，比較其在機械性質上的差異，而實驗所得之數據資料可做為電腦模擬之材料常數資料庫，並做為設計上之參考依據。

本篇對 PBGA 經鑽孔設計的基板，在鑽孔的幾何設計上探討其個別機械性質的差異，在不同應變率下的拉伸試驗，進行相關的試驗

另外，本研究亦將利用光學式顯微鏡等方法來探討基板材料受到拉伸試驗後，機械性質的變化及其破壞面上的差異，並整理出由本實驗所得之相關數據，期待可發展出一可供構裝基板材料機械性質預測的數學理論模型。

2.2 研究內容

本研究採用電子構裝型式中的 PBGA 基板，即以 BT 樹脂與玻璃纖維所疊合成之複合材料基層板為試片，試片的設計分為原始未經鑽孔處理的試片，及經鑽孔分布的試片，分別在承受不同應變率下的拉伸試驗後探討對此種材料機械性質的影響。

2.2.1 原始未經鑽孔處理的試片機械性質探討

1. 取原始未經鑽孔的試片進行靜態拉伸試驗，取有效試片，

紀錄其應力應變位置等相關數據。

2. 依拉伸試驗中的拉伸速率分為五個等級，在不同應變率下進行拉伸試驗，採取有效試片建立應力應變與應變率變化的曲線。
3. 探討拉伸應變率的改變，對材料破壞強度的影響。
4. 利用光學式顯微鏡檢測，比較在靜態拉伸破壞及加快拉伸速率所造成的試片的脫層破壞的差異性。

2.2.2 佈有鑽孔分布的基板試片機械性質探討

1. 採用 PBGA 構裝 BT 基板佈線鑽孔常用製程在試片上依照本研究設計所需鑽了尺寸各異的鑽孔，並在孔壁上鍍銅，鑽孔的尺寸為 0.3mm，均勻的正方形矩陣式分布在試片的中央處（圖 2-1）。
2. 佈有鑽孔分布的基板試片進行靜態拉伸試驗，取有效試片，紀錄其破壞強度與拉伸的位移。
3. 佈有鑽孔分布的基板試片依拉伸試驗中的拉伸速率分為三個等級；在不同拉伸應變率下進行拉伸試驗，採取有效試片建立拉伸方向力量與試片拉伸位移變化的曲線。
4. 拉伸破壞後，檢查試片脫層破壞變化情形，並探討其破壞機制。
5. 利用光學式顯微鏡探討拉伸應變率的改變，對材料破壞強度的影響。
6. 比較靜態拉伸破壞及加快拉伸速率所造成的試片的脫層。

2.2.2.1 鑽孔分布的基板試片其鑽孔間距尺寸對試片機械性質探討

1. 採用 PBGA 構裝 BT 基板佈線鑽孔常用製程在試片上依照

本研究設計所需鑽了尺寸各異的鑽孔，並在孔壁上鍍銅，鑽孔的尺寸為 0.3mm，均勻的正方形矩陣分布在試片的中央處，其中各相鄰鑽孔間的孔心距為相同。

2. 依試片的設計，將其鑽孔間的孔心距大小分為三個等級，其孔心距分別為 0.7mm，0.8mm，0.9mm。
3. 分別對不同鑽孔間距試片進行不同拉伸速率的拉伸試驗。
4. 採取有效試片建立破壞強度與相關參數（孔心間距）變化的曲線。
5. 經拉伸試驗破壞後，以光學式顯微鏡檢查試片脫層破壞變化情形，並探討其破壞機制及其不同孔間距試片產生破壞情形之差異。

2.2.2.2 鑽孔分布基板試片在相同受力截面積下對不同孔心距試片拉伸試驗之機械質探討

1. 採用 PBGA 構裝 BT 基板佈線鑽孔常用製程在試片上依照本研究設計所需鑽了尺寸個異的鑽孔，並在孔壁上鍍銅，鑽孔的尺寸為 0.3mm，均勻的正方形矩陣分布在試片的中央處，其中各相鄰鑽孔間的孔心距為相同。
2. 在相同的受力面積下，孔心間距改變(0.7 mm，0.8 mm，0.9 mm)分別進行拉伸試驗。
3. 分別對上述三種試片進行不同拉伸速率下的拉伸試驗。
4. 採取有效試片建立試片拉伸破壞強度與相關參數(孔心距)變化的曲線。
5. 拉伸破壞後，檢查試片脫層破壞變化情形，並探討其破壞機制及其不同孔心距設計之試片產生破壞情形之差異。

6. 探討鑽孔間距的改變，對三種形式試片破壞強度之影響。

2.2.3 試片經上述不同設計及不同效應後性質之比較與探討

1. 經不同拉伸速率等級之拉伸試驗六種不同型式試片結果比較與探討。
2. 探討經不同鑽孔設計的試片在拉伸試驗後之破壞強度之比較與探討。
3. 經鑽孔的試片在拉伸試驗後其應力集中行為的發展異同。
4. 經不同效應後六種不同型式試片在各等級應變率拉伸試驗後，檢測損傷發展之比較與探討。

參、文獻回顧

3.1 PBGA 構裝型式之 BT 基板材料簡介

PBGA 基板材料,主要是由 BT 樹脂與 一至五層的 E-glass 的纖維布熱壓疊合而成,如(圖 3-1),纖維布為平坦式的編織(3-2)方式;因此在材料機械性質分析上,可視為典型的複合材料,因此在許多機械特性,可從複合材料的觀點視之,此材料的基本機械性質如下:

(1) 樹脂的機械性質

本實驗所使用的材料,對整個基板而言,受溫度上的影響的最主要是在 BT 樹脂的部分,本實驗溫度狀況仍在 T_g (180) 玻璃轉換溫度之下,對於高分子應用於電子構裝材料所做的研究,高分子材料常有黏彈性與黏塑性的反應,高分子材料對於溫度,及應變率的有顯著的機械特性變化。

在高溫的環境下,材料的黏彈性性質會更加的明顯,相對於溫度效應,及應變率的影響,就樹脂而言,溫度升高,分子活動力增強物質變軟,Modulus 下降,反之溫度低,物質會變硬 Modulus 較高;應變率變快,相對物質會變得較脆性[22]。

(2) 纖維的機械性質

本試驗所使用的基板材料之纖維材料,以 E-glass 為主,以之為材料的質輕微細的纖維布他的優點在於價格低廉,強度高,吸水性低,並且與樹脂有較好的黏著(stable bond)性;編織方式為平坦式編織(plain weave),為了防止玻璃纖維織成後彼此的摩擦造成,纖維在拉成後表面塗有一層保護層,然而此層在後續加工過程中會被

除去，樹脂與纖維間的接著再以添加劑增加接合力，E-Glass 纖維在熱膨脹，強度，等機械性質相對於樹脂來說相對相當穩定，主要提供 PBGA 基板主要的強度，此外對於纖維的潛變效應並不明顯，相對於 BT 樹脂，可減少基板材料的潛變[2]。

3.2 BT 基板材料鑽孔處理簡介

基板材料鑽孔處理即以所取得之 BT 基板材料，在其表面以微鑽孔設備鑽孔，鑽孔後並在孔壁鍍銅，以上鑽孔之後的處理，為 PBGA 構裝基板佈線鑽孔的一般製程。

3.3 電子構裝相關材料試驗

整理相關文獻，在構裝材料的量測與構裝材料質方面，Lu[3]提到微小材料的量測過程中，對準（alignment）與合適性（adjustment）對於測量微小試片的真實性質有很大的影響，Sharp[4]則是關於量測矽晶薄膜的楊氏係數 E 與包松比及拉伸強度，應變的量測以雷射干涉法求得，[5]對微電子系統結構的機械性質，針對單晶矽結構做相關的測試與找出合適的測試試片尺寸，Ren 等[6]以兩種不同材質填膠與共鎔合金（63Sn37Sb），做成特殊設計的薄試片進行機械性質的測試，並探討尺寸效應的影響，由結果知尺寸效應的影響並不大；[7-9]以有限單元法的方式分析在翻轉式晶片（Flip Chip）構裝中，以錫球接點的疲勞性質及潛變效應在熱循環載重（thermal cycling loading）下的行為，Ren 等[10-11]對不同成份組成的錫球接點進行 Creep 與 Tensile 的試驗；Tzan[12]則由對構裝中樹脂材料的楊氏模數，與熱膨脹係數探討對其構裝體的影響，並由量測得之材料參數，以有限單元法計算在構裝體中熱應力與熱應變分佈情形；Haper 等[13-14]探討濕

度與溫度對於樹脂模封材料(epoxy mold ling compound), 受溫濕效應及不同應變率影響的黏彈的性質進行研究並探討 Polyimide Films 受溫度效應的應力鬆弛效應, 利用主曲線 (Mater Curve) 理論分析所得的數據, 以預測在各種溫濕度狀況下的應力鬆弛模數變化 ; Qian 等人[15-17]對高分子材料, 如薄膜、填膠的黏塑及黏彈性質, 以實驗配合理論加以探討, 在文中亦指出, 尺寸效應的影響則不是主要; 在錫球之溫度與應變率改變對機械性質的影響方面, Shi[8-20]研究溫度與應變率對於錫球的機械性質的影響, 並由試驗結果經統計方法整理出相關的模式與資料庫, 以描述錫球受溫度及應變率效應的影響; 在樹脂為基材之相關複合材料之潛變試驗方面, 吳嘉福等[21]對 Gr / Epoxy 積層複合材料做潛變試驗, 並利用時間- 溫度- 應力重疊原理[22], 以短時間的潛變性質預測長時間之潛變響應; Shrotriya[23]等對印刷電路板常用的 epoxy/FR4 基板關潛變與應力鬆弛性質究相關的研究, 在編織式基板截面的 fill 及 warp 方向分別進行潛變試驗, 並以時間- 溫度重疊原理 [22]以之建立潛變與應力鬆弛效應的主曲線(Master Creep Curve)並由複合材料 glass/FR4 之幾何性質及其樹脂之應力鬆弛測試結果建立模式預測編織 (woven) glass/fiber 複合材料基板的應力鬆弛行為, 在基板經過電鍍鑽孔 plated /pin through hole (PTH)的可靠度相關的研究面, Tusneo 等[24]以溫度循環測試(Thermal Cycle Test) 觀察鍍銅的 plated through hole 受到因溫度變化引致的應力造成其可靠度及破壞機制的探討。

3.4 高分子複合材料的機械性質

由於本文所試驗的 BT 樹脂銅箔基板試片, 其構造為以 BT 樹脂為基材, 以纖維強化, 纖維通常為 E-glass 纖維和樹脂以平坦式編織 (woven plain)疊合而成, 在機械性質上將之歸類為複合材料的範疇來

探討。

3.4.1 BT 基板複合材料

本研究所研究的 PBGA 用之構裝基板以 E-glass 纖維和 BT 樹脂以平坦式編織(woven plain)疊合而成。

3.4.1.1 材料之結構介紹

典型的複合材料電子構裝基板之構造乃由樹脂與玻璃纖維以平坦式編織的型式複合而成的，而平坦式編織的方式乃為纖維束(fiber bundles)在樹脂之中以正交的方式疊合，其相互正交之纖維方向分別為 warp 方向與 fill 方向如(圖 3-3)對 fill 方向與 warp 方向的纖維分布而言，填充之纖維束通常填充的不均勻(unbalanced)，有不同的纖維束(fiber bundles)量，或是不同徑(diameter)的纖維束，因此有不同的幾何編織型式(fabric style)的複合材料會有不同的機械性質。

Sottos, Ockers[25]等對於在樹脂之玻璃轉換溫度下，多層電路板所用板材中結構型式(fabric style)的不同相對於複材板的彈性模數(Elastic Moduli)及溫度膨脹係數(CTE)的影響; Wu, Guo 及 Chen[26]並針對 Fiber /FR4 的複材板之溫度膨脹係數(CTE)，發展出以結構型式(fabric style)為主的預測模式。

3.4.2 高分子複合材料受拉伸試驗之材料反應

多層疊合的複合材料，在受到靜態拉伸負載的初期，破裂首先在基材中沿主應力垂直的方向延伸；繼續增加拉伸載重後，更多的裂縫在平行原始裂縫方向發生並延伸，隨後在力量繼續增加下，由最沒有束制方向的纖維開始產生破裂；當前述的破壞機制任何一種先達到飽和時，則整體材料破壞。

本研究中之複材基層板屬平坦式編織式，疊層為正交疊層，即纖維方向為兩組互相垂直，分別與受力方向的平行及垂直方向，平行受力方向的纖維承受主要的拉伸應力，垂直方向處的纖維主要是對裂縫產生束制(constraint)的效應，限制了破裂面的延伸，此兩種方向的疊層分別為破壞層(cracking plies)及束制層(constraining plies)，而裂縫則在相鄰的破壞層(cracking plies)及束制層(constraining plies)中發生[27]，而束制層對破裂受制的有效性差別在於裂縫的大小及束制層的勁度(stiffness)，(圖 3-4) 顯示束制程度與橫方向破壞程度的關係，其圖以 90 度疊層之多寡來表示束制程度不同，90 度層的多寡和其應力應變曲線的關係如(圖 3-5)至 (圖 3-8)，有四種 A B C D 四種模式。

3.4.3 高分子複合材料具圓孔之材料特性

3.4.3.1 靜態性質

早在 1974 年 White 及 Nuismer [28] 就曾對具中心圓孔之纖維強化複合材料的靜態強度提出預測模型。利用平均應力準則與點應力準則，成功的預測具不同圓孔尺寸複材的靜態強度，並與實驗得到相當吻合的驗證。

具中心圓孔高分子複合材料的靜態拉伸破壞模式，一般均由圓孔周圍起始[29]，Jen 等人發現 $[90/0]_{4s}$ 正交型疊層，其裂縫由洞的邊緣開始，沿 90° 度方向處延伸；而 $[\pm 45]_{4s}$ 疊層裂縫由剪力所造成，沿 ± 45 度方向延伸，顯現裂縫延伸方向與纖維方向、疊序有關。

Cowley 及 Beaumont[29]探討具中心圓孔 CFRP 靜態拉伸性質，發現圓孔周圍 0°(split)成長減小圓孔應力集中影響[30]，Kellas 解釋這種刻痕鈍化的現象(notch blunting)效應是受到纖維縱向分裂的影響，縱向分裂造成最後的破壞遠離 notch 沿著縱向進行，使強度增加。

肆、 實驗內容及程序

4.1 儀器簡介

本篇論文預計所使用的儀器主要為下：

1. Instron-8848微測試機 (micro tester system)
2. 溫度濕度控制箱 (temperature chamber)
3. 微氣動式夾頭 (micro pneumatic grips)
4. 可變換夾面夾頭 (versa grips)
5. 高倍率顯微鏡

4.1.1 Instron-8848型微測試系統 (micro tester system)：

用於微小材料的力學測試，可用於軸向-靜態及動態疲勞測試之系統，搭配各種配合的夾具，可完成許多微小材料，如果電子構裝材料之許多力學性質的測試，如推球試驗錫球剪力試驗(ball shear)，塑封材料之拉伸測試等等。為美國Instron公司所生產製造，以下其主要構造及工作效能

4.1.1.1主要構造

1. 可調整角度式負載架 (load frame)
2. 致動器 (actuator)
3. 荷重元 (load cell)
4. 夾具 (grip/fixture)
5. 控制器 (controller)
6. 電腦 (computer)

4.1.1.2 工作效能

1. 負載範圍： 軸向負載： $\pm 1\text{kN}$
2. 行程範圍： 軸向行程： $\pm 100\text{mm}$
3. 測試速度範圍： 0.0001 to 1.5 mm/min
4. 負載(load)： 準確度(accuracy) $\pm 0.5\%$ 讀取值
5. 位移(position)： 準確度(accuracy) $\pm 1\text{ micron}$
resolution $\pm 0.05\text{ micron}$
stroke 100mm
6. 控制模式： 負載控制(load control)
行程控制(stroke control)
應變控制(strain control)

4.1.2 微氣動式夾頭 (micro pneumatic grips)

此微氣動式夾頭由輕質材料製成，每個夾具重量僅 45 gm ，使之inertia的效應減至最小，適用於低負載容量的荷重元(load cell)之疲勞測試，且此夾具的設計適用於微小的試件如薄膜(film)，纖維(fiber)，細線(fine wire)等。

4.1.3 可變換夾面夾頭(versa grips)

此夾頭的特殊功能在於可平行作用於氣動式夾頭，可調整適當的夾面，夾頭的寬度亦可以增加至 100mm ，以適用於其他複雜的試片工作效能如下：

1. Load Capacity: 1 KN
2. 氣動式驅動

3.可調整角度之變換夾面

4.可在高低溫工作環境下適用

4.2 試片準備

本實驗所使用的試片為中PBGA構裝中所使用的基板材料,通常包括有機聚合樹脂,強化纖維和導電材料,試片的準備乃直接向銅箔基板廠商直接購得原始的板材,再經由印刷電路板廠商加工成為試驗所須之規格與加工。

4.2.1 PBGA基板簡介

本實驗所採用的基板的取得主要是由國內生產構裝基板的廠商直接購得,如此可最接近目前商用的基板,以符合實際PBGA使用情況,PBGA基板大多數為雙面(Double Side)上下兩層銅電路中間為銅箔基板(Cooper Clad Laminate)的構造,上下電路利用鑽孔來導通,積層板為樹脂與玻璃纖維布(大多為E-Class的玻璃纖維)疊合而成。

4.2.2 試片的尺寸與加工

由廠商所購得的試片尺寸為,20 in x 16in,所購得的原始試片為實際 PBGA 構裝用之銅箔基板(CCL),試片經加工裁切成所需的尺寸,並參考 ASTM 之靜態拉伸試驗相關規範,(選擇尺寸參考規範有 ASTM D638M-81〔31〕;另外 ASTM D3039-76〔32〕及 ASTM D3552-77〔33〕則適用於複合材料的拉伸試驗,試片尺寸大小遠比上述兩種規範大的多,所以本實驗中並不適當。

考慮電子構裝輕、薄、短、小,元件尺寸都以厘米計算,為了更接近實際應用,使試片量測出的機械性質能符合實際現象,所以根據

上述 ASTM 規範，選擇 ASTM D1708-79 做為尺寸大小的裁切依據，但相當多的文獻提出，可將試片做成長條狀(thin strip)進行實驗，吾人並實際利用微拉力機對各種不同尺寸之試片進行試驗；取得一較易獲得有效實驗數據的尺寸；所以在此吾人設計不同主題所需的試片尺寸為長 80mm，寬 4.9 mm至 6.3 mm，厚度則為 0.3 mm。

4.3.2.1 無鑽孔設計試片之型式

無鑽孔試片之規格採用長條狀(thin strip)之型式，試驗用的材質為 BT 樹脂銅箔基板與蝕刻掉銅箔的 BT 樹脂積層板；其尺寸規格為長 80 mm，寬 5 mm，並以玻璃纖維板裁成 25 mm×6 mm的夾持板(end tab)，予以膠合（圖 4-1）。夾持板表面以砂紙研磨增加膠合面積與摩擦力。膠合處需以丙酮清洗以防止脫膠情形發生。

4.3.2.2 鑽孔處理之試片型式

鑽孔的試片之長寬規格與無鑽孔試片相同，在試片的中心處經加工處理鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，相鄰兩孔孔心的距離為 0.7 mm、0.8 mm、0.9 mm；鑽孔之後參考印刷電路板製程中在孔壁鍍銅的製程；試片的孔心間距與試片寬度分別設計為五種型式：

4.3.2.2.1 試片型式

皆為在長 80 mm長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。

型式一：孔心間距 0.7 mm，試片寬 4.9 mm 如（圖 4-2）。

型式二：孔心間距 0.8 mm，試片寬 5.6 mm 如（圖 4-3）。

型式三：孔心間距 0.9 mm，試片寬 6.3 mm 如（圖 4-4）。

型式四：孔心間距 0.8 mm，試片寬 6.3 mm 如（圖 4-5）。

型式五：孔心間距 0.7 mm，試片寬 6.3 mm 如（圖 4-6）。

4-4 實驗方法及程序

本文的實驗流程如(圖4-7)所示，需先作一連串的基本強度試驗，取得在擬靜態下之應力/應變曲線，然後再做溫度和應變率的改變。詳細的實驗內容如下：

4.4.1 靜態拉伸強度試驗

參考ASTM之靜態拉伸試驗，依據部分規範做成長條狀(thin strip)，利用本實驗室微試驗機所搭配的可變化夾面的氣動式夾具(versa grip)，將試片與夾具的接面完整的接和，以達到最佳的夾合功能，此外並需確定夾具的負載範圍，以避免在拉伸試驗時，發生夾頭處的鬆拖，並在夾頭處黏置墊片，避免試片在夾頭處破壞，希望使應力作用能集中在試片的中央處，如此結果才能符合真正材料的拉伸強度性質；經靜態拉伸強度試驗後可經由控制器的讀取，然後在電腦上由所搭配的應用軟體上讀取得靜態拉伸應力/應變曲線，本試驗過程拉伸試驗的應變率為擬靜態的 10^{-5} mm/mm/s。

4.3.2 不同應變率下之拉伸試驗

在試片尺寸同靜態拉伸試驗的狀態下，由控制器改變拉伸的應變率，此試驗乃由行程控制(displacement control)，應變量的取定取決於試驗中的夾頭位移的變化，試片的準備與靜態拉伸試驗同；最需要注意的地方仍是夾頭與試片需完整的接和與夾緊，夾頭夾持力與試片尺寸的適合與否也是需要注意的地方，必要時視情況而調整，以達最佳的試驗狀態。

4.4 實驗流程

本論文之實驗依五種不同之孔心間距設計，及四種不同之應變率進行拉伸試驗，以量測各種不同條件之拉伸強度，其流程圖如（圖 4-7）所示。

為本試驗之結果之可靠性，在條件完全相同之試驗，至少進行了五根，故所需之試片數目至少為 $6 \times 4 \times 3 = 72$ 根，加上試驗中會有斷裂在夾頭的失敗試片，本研究保守估計試驗試片有 120 根以上。

伍. 結果與討論

本研究主要在於探討以電子構裝用 BT 樹脂銅箔基板材料為主，經不同的鑽孔設計之後，在不同應變率下拉伸試驗的機械性質，茲就以下幾部分作討論：

5.1 原始試片承受拉伸試驗之研究

將 BT 積層板試片裁切製程長條型的試片進行各種不同應變率下的拉伸試驗，取拉伸破壞部位在試片中央處附近者為有效試片，紀錄其應力應變曲線的變化並比較探討之。

5.1.1 原始試片之靜態拉伸試驗

原始試片靜態拉伸試驗選擇以 10^{-5} mm/mm/s 之應變率擬靜態拉伸，拉伸試驗過程材料破壞前，應力與應變曲線大致呈線性關係如（圖 5-1），表示材料的品質沒有太大的瑕疵，其平均的勁度(E)為 13.1GPa（表 5-6），平均破壞強度為 260 MPa，在達破壞強度之前明顯的可聽見纖維斷裂的響聲，隨後即斷裂；靜態拉伸過程中由於拉伸載重的力量緩慢隨著應變率每秒 10^{-5} 增加，由[27]知與拉伸方向垂直方向的纖維層對受力方向纖維層破壞束制作用可以有最佳的協調性 (compatibility)；由於拉伸速率極慢，基材裂縫成長也相對緩慢，觀察試片的破壞集中在纖維的斷裂，在編織式纖維相鄰層間的脫層破壞並不明顯。

5.1.2 原始試片不同應變率之拉伸試驗

對未鑽孔設計的原始 BT/Glass 積層板分別以 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1} mm/mm/s 四種快慢不同的應變率進行拉伸試驗（圖 5-2 -5），各應變

率各取三根試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1} (mm/mm/s)四種應變率所得材料之平均勁度(E)分別為 14.4 GPa 14.5GPa 14.5GPa、14.8GPa，平均的破壞強度為 282.33MPa 294.94MPa 322.58MPa 347.58MPa，(表 5-2-5-5)；拉伸速率較快的試驗中，試片破壞的過程中有明顯的撕裂聲，由光學顯微鏡觀察，拉伸速率越快的試片破壞斷面附近有明顯的試片脫層破壞，造成試片層間的分離撕裂，造成脫層破壞，由於脫層延伸，在越快拉伸速率的試驗，材料破壞拉伸應變越大。

5.1.3 不同應變率拉伸試驗之比較

對不同應變率拉伸試驗比較，由所得各應變率拉伸試驗之數據，拉伸速率越快，材料的剛性越強，由數據顯示除了靜態拉伸的剛性較小外，其他條件下得之剛性變化並不是相當顯著，由於拉伸速率變快使材料本身性質有脆性的轉移[22]，應變率越快，材料的破壞強度則越高，剛性(E)亦更強，脆性破壞越明顯，(圖 5-6)比較各應變率拉伸試驗之應力應變曲線，(圖 5-7)比較各應變率拉伸試驗的拉伸破壞強度；由(圖 5-5)與(圖 5-1)比較快慢應變率拉伸試驗的差別，在越快拉伸速率所試驗得知應力應變曲線，拉伸過程速度較快，在層與層間小的應變造成初始裂縫，脆性破壞很快的延伸開，受力方向的束制層無法束制相鄰層間的剪應力，破壞先由脫層破壞開始，最後縱向的纖維亦斷裂造成整各試片的拉斷，應力應變曲線的分佈類似(圖 3-6)中之 B 型式，圖 3-6 是以 90 度疊層的多寡數來比較材料受束制的程度，而本研究是以相同疊層，拉伸速率不同來探討束制效應，可知快拉伸速率所得之應力應變曲線屬於低束制(Low Constraint)下的反應；而在靜態或是極慢應變率下的拉伸試驗之應力應變曲線，90

度層因為拉伸速度極慢，有較佳的一致性，脆性破壞較不明顯，對 0 度層有較佳的束制能力，應力應變曲線的分佈類似（圖 3-7）中之 C 型式，屬於高束制(high constraint)下的反應；在拉伸速率與破壞應變的大小的比較上，拉伸速率越快的試片，其 0 度層與 90 度層間的脫層效應越明顯，因試片先脫層之後再由纖維斷裂破壞，在脫層的過程層與層間的撕裂使試片在拉伸的過程增加拉伸的位移，因此材料破壞應變的大小也隨拉伸速率增加而增大。

5.1.4 高倍率顯微鏡觀察破壞斷面

以高倍率顯微鏡觀察各等級應變率拉伸破壞之試片斷面，靜態拉伸破壞之試片由表面觀察明顯發現試片斷裂處較整齊而平整（圖 5-8a），再以高倍率光學顯微鏡觀察試片斷裂橫斷面（圖 5-8b），可見破壞最主要是由試片中的玻璃纖維斷裂所造成，複材的脫層現在並不明顯；以相同步驟觀察應變率 10^{-4} ， 10^{-3} ， 10^{-2} ， 10^{-1} 應變率拉伸破壞後之試片斷面，拉伸速率越快，則試片脫層破壞的現象越明顯（圖 5-9 a b），並且由許多快拉伸速率試驗的試片破壞斷面觀察，層與層之間完整平滑的分離滑脫（圖 5-9 c），拉伸速率越快，則層間類似撕裂效應的現象越明顯。

5.2 中央處經鑽孔分佈之試片承受拉伸試驗研究

經鑽孔設計的 BT 積層板分別以 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} 、mm/mm/s 四種快慢不同的應變率進行拉伸試驗，各應變率各取三根試片進行拉伸試驗。

5.2.1 鑽孔型式(一)之試片

在長 80 mm 長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。型式一的鑽孔設計為：孔心間距 0.7 mm，試片寬 4.9 mm 如（圖 4-2）。

5.2.1.1 不同應變率之拉伸試驗

型式(一)鑽孔設計之試片，各應變率各取三根有效試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率所得材料之平均破壞強度 (fracture strength)分別為 15.37、19.28、27.48 (kgf/mm²) (表 5-7) (圖 5-10)。

在其同一橫斷面上相鄰的鑽孔即鑽孔和相鄰的試片邊緣的距離皆相等，試片受到拉伸的力量後，在孔緣周圍會有應力集中的效應，在孔緣處有最大的應力集中效應，應力集中效應離孔緣遠愈遠越不明顯，離孔緣遞減其裂縫由洞的邊緣開始[29-30]，沿 90° 度方向處延伸；應力集中造成的裂縫繼續成長互相連接，造成孔心間材質斷裂，則試片產生破壞。

5.2.1.2 不同應變率拉伸試驗之比較

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，型式(一)試片符合材料受到越快速度拉伸時，會由轉為脆性，破壞強度相對越強

5.2.1.3 以光學顯微鏡觀察破壞斷面

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，以光學顯微鏡觀察試片破壞斷面，拉伸速度的快慢對破裂面的破壞機制的影響不明顯，由於鑽孔試片破壞的原因為孔周圍應力集中造成斷面斷裂，斷面破壞為很明顯的纖維斷裂（圖 5-11）。

5.2.2 鑽孔型式(二)之試片

在長 80 mm 長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。型式一的鑽孔設計為：孔心間距 0.8 mm，試片寬 5.6 mm 如（圖 4-3）。

5.2.2.1 不同應變率之拉伸試驗

型式(二)鑽孔設計之試片，各應變率各取三根有效試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率所得材料之平均破壞強度 (Fracture Strength)分別為 20.27、22.38、26.89 (kgf /mm²) (表 5-8) (圖 5-12)。

5.2.2.2 應變率拉伸試驗之比較

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，型式(二)試片符合材料受到越快速度拉伸時，會由轉為脆性，破壞強度相對越強。

5.2.2.3 以光學顯微鏡觀察破壞斷面

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，以光學顯微鏡觀察試片破壞斷面，拉伸速度的快慢對破裂面的破壞機制的影響不明顯，孔心間距比型式(一)的試片增加 0.1 mm，觀察其破壞斷面，斷面破壞仍為明顯的纖維斷裂。

5.2.3 鑽孔型式(三)鑽孔之試片

在長 80 mm 長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。型式一的鑽孔設計為：孔心間距 0.9 mm，試片寬 6.3 mm 如（圖 4-4）。

5.2.3.1 不同應變率之拉伸試驗

型式(三)鑽孔設計之試片，各應變率各取三根有效試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率所得材料之平均破壞強度 (Fracture Strength)分別為 23.39、24.56、29.65(kgf /mm²) (表 5-9)(圖 5-13)。

5.2.3.2 應變率拉伸試驗之比較

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，型式(三)試片符合材料受到越快速度拉伸時，會由轉為脆性，破壞強度相對越強。

5.2.3.3 以光學顯微鏡觀察破壞斷面

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，以光學顯微鏡觀察試片破壞斷面，拉伸速度的快慢對破裂面的破壞機制的影響不明顯，孔心間距比型式(二)的試片增加 0.1 mm，觀察其破壞斷面，斷面破壞仍為明顯的纖維斷裂。

5.2.4 型式(四)鑽孔處理之試片

在長 80 mm長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。型式一的鑽孔設計為：孔心間距 0.8 mm，試片寬 6.3 mm 如 (圖 4-5)。

5.2.4.1 不同應變率之拉伸試驗

型式(四)鑽孔設計之試片，各應變率各取三根有效試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率所得材料之平均破壞強度 (Fracture Strength)分別為 19.51、22.36、22.86 (kgf /mm²)(表 5-10)(圖

5-14)。

5.2.4.2 應變率拉伸試驗之比較

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，型式(四)試片符合材料受到越快速度拉伸時，會由轉為脆性，破壞強度相對越強。

5.2.4.3 以光學顯微鏡觀察破壞斷面

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，以光學顯微鏡觀察試片破壞斷面，拉伸速度的快慢對破裂面的破壞機制的影響不明顯，孔心距和試片寬度的改變，使最靠近邊緣的鑽孔與試片邊緣的距離大於相鄰的孔心間距，使在試片相鄰兩孔間的部位承受較大的應力集中效應，此部位的斷裂為整齊的纖維斷裂，而在邊緣孔與試片邊緣部位之試片斷裂面則不是很均勻，此乃為此不為兩邊應力集中效應不均等。

5.2.5 型式(五)鑽孔處理之試片

在長 80 mm長的試片中央處鑽一 7×7 正方形矩陣排列的鑽孔，其孔徑為 0.3mm，兩端亦用夾持板膠合。型式一的鑽孔設計為：孔心間距 0.7 mm，試片寬 6.3 mm 如（圖 4-6）

5.2.5.1 不同應變率之拉伸試驗

型式(五)鑽孔設計之試片，各應變率各取三根有效試片進行拉伸試驗， 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率所得材料之平均破壞強度 (Fracture Strength)分別為 15.56、16.63、18.94 (kgf/mm²) (表 5-11) (圖 5-15)。

5.2.5.2 應變率拉伸試驗之比較

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，型式(五)試片符合材料受到越快速度拉伸時，會由轉為脆性，破壞強度相對越強

5.2.5.3 以光學顯微鏡觀察破壞斷面

在 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} (mm/mm/s)三種應變率下拉伸試驗，以光學顯微鏡觀察試片破壞斷面，拉伸速度的快慢對破裂面的破壞機制的影響不明顯，孔心距和試片寬度的改變，使最靠近邊緣的鑽孔與試片邊緣的距離大於相鄰的孔心間距，使在試片相鄰兩孔間的部位承受較大的應力集中效應，此部位的斷裂為整齊的纖維斷裂，而在邊緣孔與試片邊緣部位之試片斷裂面則不是很均勻，型式(五)試片在鑽孔邊緣與試片邊緣的距離相對比型式(三)(四)，此部份材質再拉伸試驗進行時，所受的應力集中效應小。

5.3 上述各類不同試片承受拉伸試驗之比較

比較上述五種不同鑽孔設計的試片受拉伸所得之拉伸破壞強度，在破壞強度與孔心間距變化的研究，由型式(一)到型式(三)的鑽孔試片受不同拉伸試驗的結果看來，孔心間距越大，相對的拉伸的破壞強度越強（圖 5-16）至（圖 5-18），不同孔心間距的試片，因孔徑皆相同，其圓孔周圍的應力集中效應相同，由於相鄰的兩鑽孔其邊緣的應力集中效應，隨緣離孔緣而慢慢遞減，但較近的孔心間距使兩相鄰孔的應力集中效應疊加，孔心間距越近，之間材質所承受的應力越大，所能提供強度相對降低；但破壞強度的大小與孔心間距的距離並不成等比例，理由在於離孔洞周圍越遠，應力集中的效應越不明顯，以非線性的方式遞減。

在破壞強度與孔心間距變化的研究，由型式(三)到型式(五)的鑽

孔試片受不同拉伸試驗的結果看來，試片橫斷面相同的受力面積下，孔心間距越大，其所能承受的破壞強度亦越大(圖 5-19)至(圖 5-21)，表示在相同受力面積下，試片的破壞還是先由相鄰孔間應力集中造成破壞，邊緣鑽孔至試片邊緣距離的材料，對破壞強度的增加沒有太明顯的加強效果，由此知，相同受力面積下的鑽孔設計採用寬孔心間距為佳。

5.3.1 各類試片不同應變率拉伸試驗的比較

各類試片不同應變率拉伸試驗的比較如(圖 5-22)，五種不同鑽孔設計的試片的破壞強度比較，在個別試片型式的拉伸試驗中拉伸應變速率越快破壞強度越高，比較型(一)到型(三)試片的破壞強度，孔心距越大拉伸破壞強度越強；比較型(三)到型(五)試片的破壞強度，相同的試片寬，即相同的受力面積下，孔心距越大拉伸破壞強度越強。

陸、結論

本研究目的在於探討 BT 材料基板及其經鑽孔設計後受不同應變率拉伸強度試驗之研究，整理下列幾點結論：

一、BT 材料受不同應變率之拉伸試驗相關特性

1. 對不同應變率拉伸試驗比較，由所得各應變率拉伸試驗之數據，拉伸速率越快，材料的剛性越強，由數據顯示除了靜態拉伸的剛性較小外，其他條件下得之剛性變化並不是相當顯著。
2. 拉伸速率變快使材料本身性質有脆性的轉移，應變率越快，材料的破壞強度則越高，剛性(E)亦更強，脆性破壞越明顯。
3. 在靜態或是極慢應變率下，BT 材料的拉伸破壞最主要是由試片中的玻璃纖維斷裂所造成，複材的脫層現在並不明顯。
4. 拉伸速率越快的 B T 試片破壞的斷面附近有明顯的試片脫層破壞，造成試片層間的分離撕裂，造成脫層破壞，由於脫層延伸，在越快拉伸速率的試驗，材料破壞拉伸應變越大。

二、BT 材料經不同鑽孔的設計後受不同應變率之拉伸試驗相關特性

1. 五種不同型式鑽孔設計的試片拉伸試驗後，應變率越快，材料的破壞強度則越高，脆性破壞越明顯。
2. 由型式(一)到型式(三)的鑽孔試片受不同拉伸試驗的結果看來，孔心間距之值越大，相對的拉伸的破壞強度越強。
3. 不同孔心間距的試片，因孔徑皆相同，其圓孔周圍的應力集中效應相同，由於孔緣的應力集中效應，較近的孔心間距使兩相鄰孔的應力集中效應疊加，孔心間距越近，之間材質所承受的應力越大，所能提供強度相對降低。
4. 在拉伸破壞強度與孔心間距變化的研究，由型式(三) 到型式(五)

的鑽孔試片受不同拉伸試驗的結果看來，試片橫斷面相同的受力面積下，孔心間距越大，其所能承受的破壞強度亦越大。

5. 在破壞強度與孔心間距變化的研究，由型式(三) 到型式(五)的鑽孔試片受不同拉伸試驗的結果看來，試片橫斷面相同的受力面積下，孔心間距越大，其所能承受的破壞強度亦越大。
6. 相同受力面積下，試片的破壞還是先由相鄰孔間應力集中造成破壞，邊緣鑽孔孔緣至試片邊緣距離的材料，對破壞強度的增加沒有太明顯的加強效果，相同受力面積下的鑽孔設計採用寬孔心間距為較好的設計。

參考文獻

1. Seraphim, D. P., Lasky, R. C. and Li, C. Y., “ *Principles of Electronic Packaging*,” Ch. 9, McGraw-Hill, New York, 1993.
2. Pecht, M. G., Agarwal, R., McCluskey, P., Dishongh, T., Javadpour, S. and Mahajan, R., “*Electronic Packaging Materials and Their Properties*,” CRC Press, Boca Raton, FL, 1999.
3. Lu , M., Ren, W., Liu, S. and Shangguan, D., “A Unified Multi-Axial Sub-Micro Fatigue Tester with Applications to Electronic Packaging Materials,” *Electronic Components and Technology Conference*, San Jose, CA USA, May 18-21, pp. 144-148, 1997.
4. Sharpe, Jr., W. N., Yuan, B., Vaidyanathan, R. and Edwards, R. L., “Measurements of Young's Modulus, Poisson's Ratio, and Tensile Strength of Polysilicon,” *Micro Electro Mechanical Systems*, January 26-30, pp. 424-429, 1997.
5. Suwito, W., Dunn, M. L. and Cunningham, S. J., “Mechanical Behavior of Structures for Microelectromechanical Systems,” *International Conference on Solid-State Sensors and Actuators*, Chicago, Illinois USA, June 16-19, pp. 611-614, 1997.
6. Ren, W., Qian, Z. and Liu, S., “Scale Effect on Packaging Materials,” *Electronic Components and Technology Conference*, San Diego, CA USA, June 1-4, pp. 1229-1234, 1999.
7. John H. L., Pang and Tze-Ing Tan., “Thermo-Mechanical Analysis of Solder Joint Fatigue and Creep in a Flip Chip On Board Package Subject to Temperature Cycling Loading,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 878-883, 1998.
8. Hong Yang, Phillip Deane, Paul Magill and k. Linga Murty , “Creep Deformation of 96.5Sn-3.5Ag Solder Joints In A Flip Package,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 1136-1142, 1996.

9. H. J. Frost, R.T. Howard, P. R. Lavery, and S. D. Lutender, "Creep and Tensile Behavior of Lead-Tin Solder Alloys," IEEE.
10. Ren, W., Qian, Z., Lu, M. and Liu, S., "Investigation of a New Lead Free Solder Alloy Using Thin Strip Specimens," *ASME Journal of Electronic Packaging*, Vol. 121, pp. 271-274, 1999.
11. Ren, W., Qian, Z. and Liu, S., "Thermo-mechanical Creep on Two Solder Alloys," *Electronic Components and Technology Conference*, Seattle, WA USA, May 28-31, pp. 1431-1437, 1998.
12. Tzan, S. R. and Chen, L. S., "Study of Epoxy Material Properties for Solving Thermal Mismatch Problem on Electronic Packaging," *InterPACK'99*, Hawaii, June 13-18, EEP-Vol. 26-1, pp. 373-378, 1999.
13. Harper, B. D., Lu, L. and Kenner, V. H., "Effect of Temperature and Moisture upon the Mechanical Behavior of an Epoxy Molding Compound," *Advances in Electronic Packaging 1997*, EEP-Vol. 19-1, pp. 1207-1212, 1997.
14. Harper, B. D., Rao, J. M., Kenner, V. H. and Pope, C. H., "Effects of Temperature and Moisture upon Stress Relaxation in Polyimide Film," *Mechanics and Materials for Electronic Packaging: Vol 2 – Thermal and Mechanical Behavior and Modeling*, pp. 17-27, 1994.
15. Qian, Z., Lu, M. and Liu, S., "Constitutive Modeling of Polymer Films From Viscoelasticity to Viscoplasticity," *ASME Journal of Electronic Packaging*, Vol. 120, pp. 145-149, 1998.
16. Qian, Z., Lu, M. and Liu, S., "Visco-Elastic-Plastic Behaviors of Polymer-Based Packaging Materials," *International Conference on Adhesive Joining and Coating Technology in Electronics Manufacturing*, Binghamton, NY USA, September 28-30, pp. 62-67, 1998.
17. Ren, W., Wang, J., Qian, Z., Zou, D. and Liu, S., "Investigation of Nonlinear Behaviors of Packaging Materials and Its Application to a Flip-Chip Package," *International Symposium on Advanced Packaging Materials*, Chateau Elan, Braselton, Georgia USA, March 14-17, pp. 31-40, 1999.

18. Shi, X. Q., Zhou, W., Pang, H. L. J. and Wang, Z. P., "Effect of Temperature and Strain Rate on Mechanical Properties of 63Sn/37Pb Solder Alloy," *ASME Journal of Electronic Packaging*, Vol. 121, pp. 179-185, 1999.
19. Gilat A., K. Krishma , "The Effects of Strain Rate and Thickness on the Response of Thin Layers of Solder Loaded in Pure Shear," *ASME Journal of Electronic Packaging*, vol. 119, pp. 81-84 , 1997.
20. Pang H. L. J, Y. P. Wang, X. Q. Shi, and Z. P. Wang , "Sensitivity Study Of Temperature And Strain Rate Dependent Properties On Solder Joint Fatigue Life," *Electronics Packaging Technology Confernce, IEEE*, 1998.
21. 吳嘉福., " 碳纖維強化高分子複合材料積層板疲勞及潛變性質之探討," 碩士論文--國立清華大學化學工程研究所, 1994.
22. 胡德, " 高分子物理與機械性質," 渤海堂文化公司.
23. Shrotriya, P., Sottos, N. R., "Creep and Relaxation Behavior of Woven Glass/Epoxy Substrates for Multiplayer Circuit Board Applications," *POLYMER Composites* Vol. 19 , No5. pp. 567-578 , 1998.
24. Tsuneo Kobayshi., Sumito Hayashihda., "A Study on Reliability Modeling for Through Hole Cracking Failure in Thermal Enhanced PBGA Laminate," *Electronics Packaging Technology Confernce, IEEE*, pp. 1658 –1660 ,2000
25. Sotto N. R., Ockers J.M., " Thermoelastic Properties of Plain Weave Composites for Multilayer Circuit Board Applications," *Journal of Electronic Packaging*, 1999.
26. Wu, T. Y., Guo, Y., Chen, W. T., " Thermal-Mechanical Strain Characterixation for Printed Wiring Board, "IBM J. Res. Develop, Vol 37 No5, pp.621-634 , 1993.
27. Ramesh Tlreja., " Fatigue of Composite Material.," Ch8, Technometric Publishing Company, Inc., 1987.

28. Whitney, J. M., Nuismer, R. J., “ Stress Fracture Criteria for Laminated Composite Containing Stress Concentrations,” *Journal of Composite Material*.
29. Cowley, K D., Beaumont, P. W. R., “ Damage Accumulation at Notches and the Fracture Stress of Carbon-Fiber/Polymer Composite,” *Composite Science and Technology and Research*, Vol 12, pp.24-30,1981.
30. Kortschot, M. T. and Beaumont, P. W. R.,”Damage Mechanics of Composite Material:IV. The effect of lay-up on Damage Growth and Notched Strength,”*Composite Science and Technology* , 40, pp.169-179, 1991.
31. ASTM D638M-81, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics(Metric),” *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.8. 01, pp. 248-259, 1984.
32. .ASTM D3039-76, “Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber-resin Composites,” *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15. 03, pp. 162-167, 1984.
33. ASTM D3552-77, “Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber reinforced Metal Matrix Composites,” *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15. 03, pp. 225-231, 1984.

表 5-1 原始試片靜態拉伸強度(10^{-5} mm/mm/s)

試片編號	拉伸強度(MPa)	拉伸破壞應變(%)
1	263.24	2.73
2	266.05	2.82
3	250.61	2.71
標準差	8.22	0.05
平均	259.97	2.75

表 5-2 原始試片拉伸強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	拉伸強度(MPa)	拉伸破壞應變(%)
1	303.63	2.93
2	269.94	2.71
3	273.39	2.87
標準差	18.53	0.11
平均	282.33	2.841

表 5-3 原始試片靜態拉伸強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	拉伸強度(MPa)	拉伸應變(%)
1	307.52	3.19
2	303.84	2.92
3	273.39	2.87
標準差	18.73	0.17
平均	294.94	2.99

表 5-4 原始試片靜態拉伸強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	拉伸強度(MPa)	拉伸應變(%)
1	323.61	3.45
2	318.50	3.48
3	325.60	3.81
標準差	3.66	0.19
平均	322.58	3.58

表 5-5 原始試片靜態拉伸強度(10^{-1} mm/mm/s)

試片編號	拉伸強度(MPa)	拉伸應變 (%)
1	338.40	3.61
2	358.38	3.70
3	345.94	3.86
標準差	10.08	0.12
平均	347.58	3.73

表 5-6 各應變率拉伸試驗之剛性

拉伸應變率 (mm/mm/S)	揚氏模數 (E) (GPa)	標準差 (GPa)
10^{-5}	13.1	0.42
10^{-4}	14.4	0.33
10^{-3}	14.5	0.36
10^{-2}	14.5	0.21
10^{-1}	14.7	0.47

表 5-7.a 鑽孔(型式一)試片拉伸破壞強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	14.71
2	14.72
3	16.68
標準差	1.12
平均	15.37

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 4.9 mm)

表 5-7.b 鑽孔(型式一)試片拉伸破壞強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度 (kgf/mm ²)
1	18.50
2	20.11
3	19.25
標準差	0.79
平均	19.28

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 4.9 mm)

表 5-7.c 鑽孔(型式一)試片拉伸破壞強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	26.87
2	28.12
3	27.43
標準差	0.63
平均	27.48

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 4.9 mm)

表 5-8.a 鑽孔(型式二)試片拉伸破壞強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	20.34
2	18.46
3	22.04
標準差	1.78
平均	20.27

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 5.6 mm)

表 5-8.b 鑽孔(型式二)試片拉伸破壞強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	21.98
2	21.82
3	23.31
標準差	0.81
平均	22.38

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 5.6 mm)

表 5-8.c 鑽孔(型式二)試片拉伸破壞強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	27.72
2	27.70
3	25.26
標準差	1.40
平均	26.89

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 5.6 mm)

表 5-9.a 鑽孔(型式三)試片拉伸破壞強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	23.58
2	24.95
3	21.64
標準差	1.65
平均	23.39

(孔心間距 0.9 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-9.b 鑽孔(型式三)試片拉伸破壞強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	23.80
2	24.68
3	25.21
標準差	0.70
平均	24.56

(孔心間距 0.9 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-9.c 鑽孔(型式三)試片拉伸破壞強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	28.78
2	28.73
3	31.45
標準差	1.37
平均	29.65

(孔心間距 0.9 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-10.a 鑽孔(型式四)試片拉伸破壞強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	21.02
2	18.50
3	19.01
標準差	1.32
平均	19.51

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-10.b 鑽孔(型式四)試片拉伸破壞強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	25.66
2	20.46
3	20.98
標準差	2.85
平均	22.36

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-10.c 鑽孔(型式四)試片拉伸破壞強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	23.44
2	22.13
3	22.82
標準差	0.67
平均	22.86

(孔心間距 0.8 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-11.a 鑽孔(型式五)試片拉伸破壞強度(10^{-4} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	15.80
2	15.87
3	15.61
標準差	0.47
平均	15.56

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-11.b 鑽孔(型式五)試片拉伸破壞強度(10^{-3} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	17.16
2	14.76
3	17.98
標準差	1.66
平均	16.63

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 6.3 mm)

表 5-11.c 鑽孔(型式五)試片拉伸破壞強度(10^{-2} mm/mm/s)

試片編號	破壞強度(kgf/mm ²)
1	19.14
2	18.39
3	19.04
標準差	0.51
平均	18.94

(孔心間距 0.7 mm , 試片寬 6.3 mm)

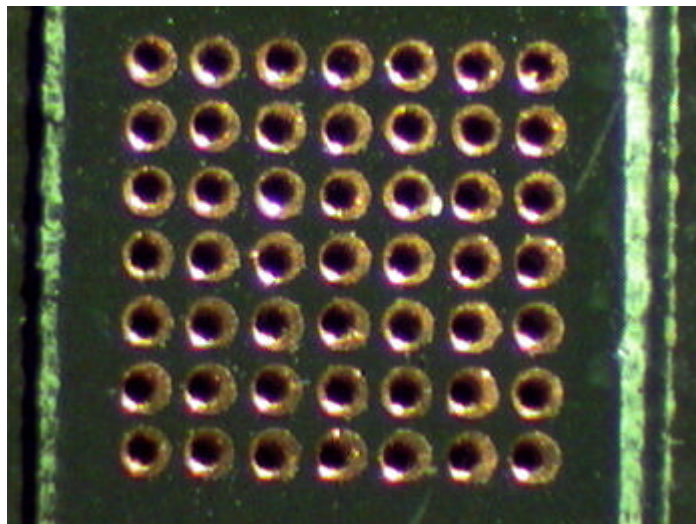


圖 2-1 佈有鑽孔分布的基板試片 (孔心距 0.7mm 寬 6.3mm)

銅箔基板
製作流程

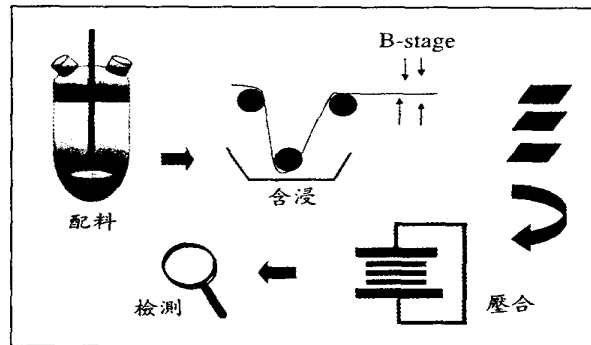


圖 3-1 銅箔基板製作流程[2]

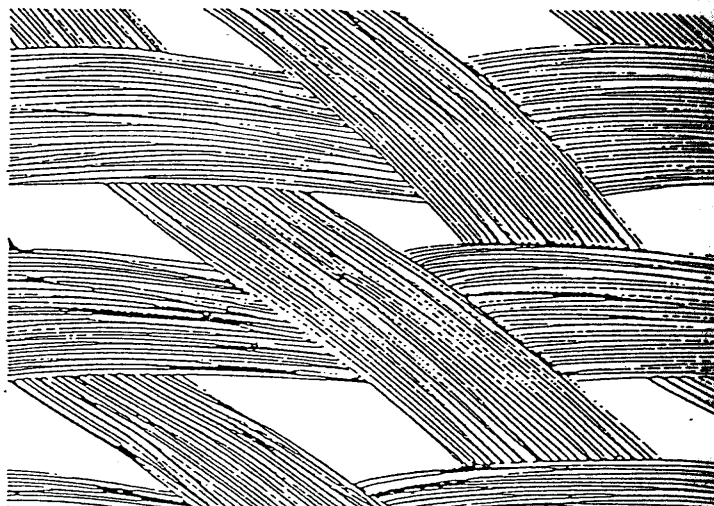


圖 3-2 平坦式編織[2]

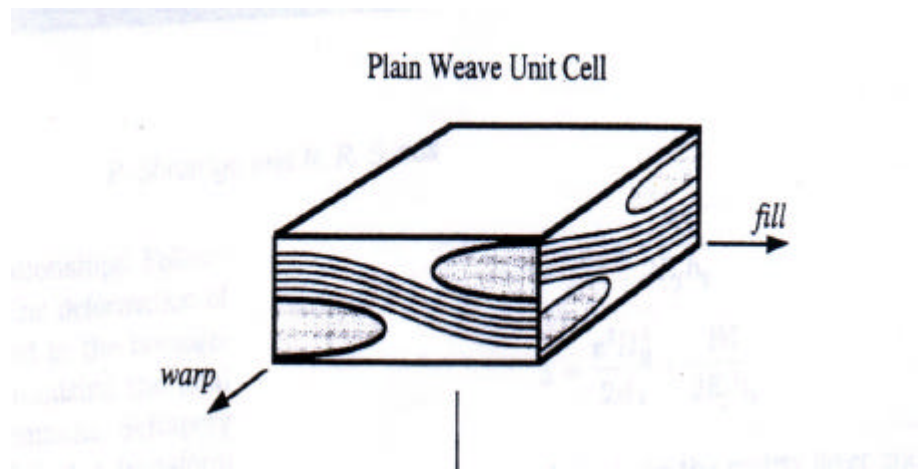


圖 3-3 編織式積層板剖面圖[25]

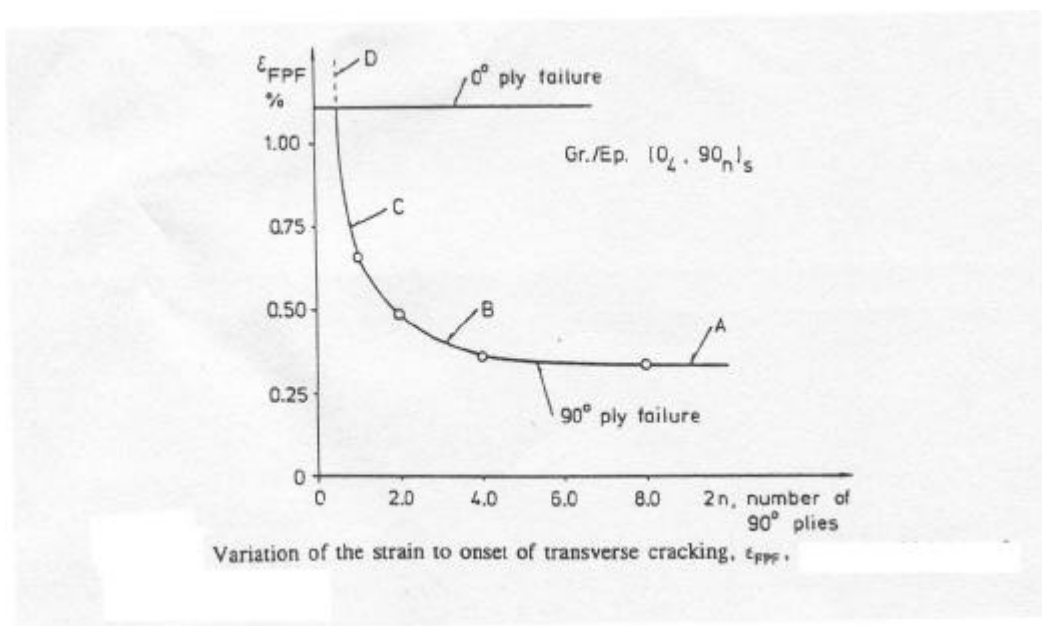


圖 3- 4 束制程度與橫方向破壞程度的關係[27]

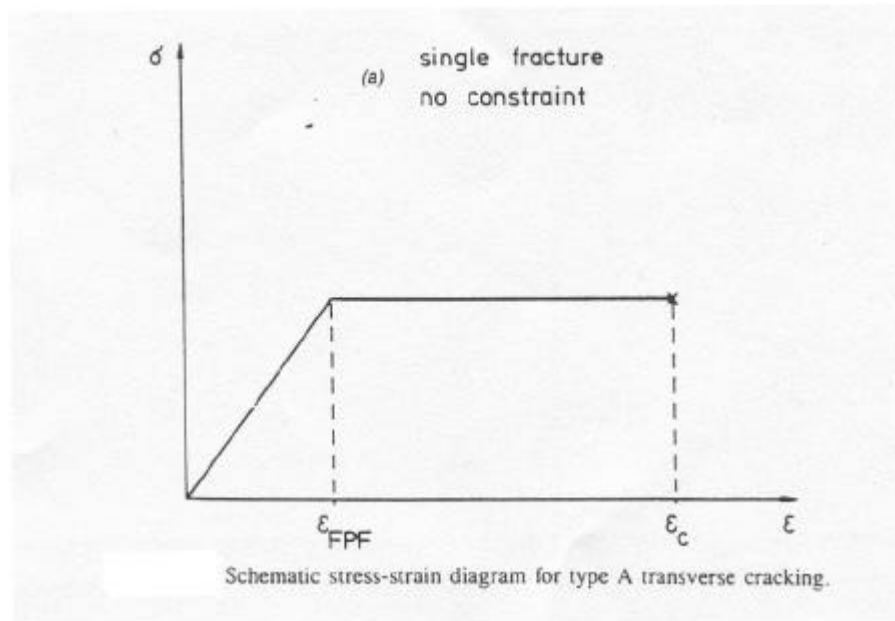


圖 3-5 無束制 (no constraint) 下拉伸破壞應力應變曲線 A type[27]

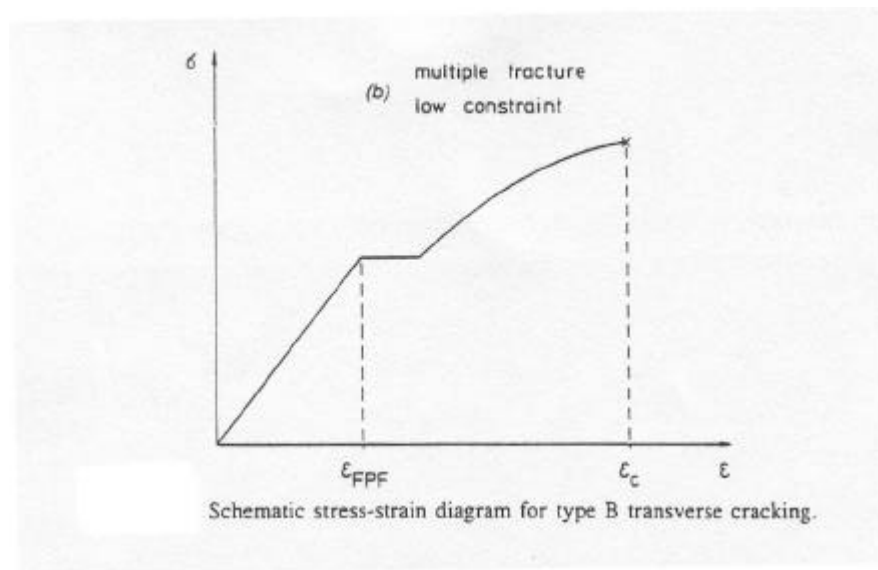


圖 3-6 低束制 (low constraint) 下拉伸破壞應力應變曲線 B type[27]

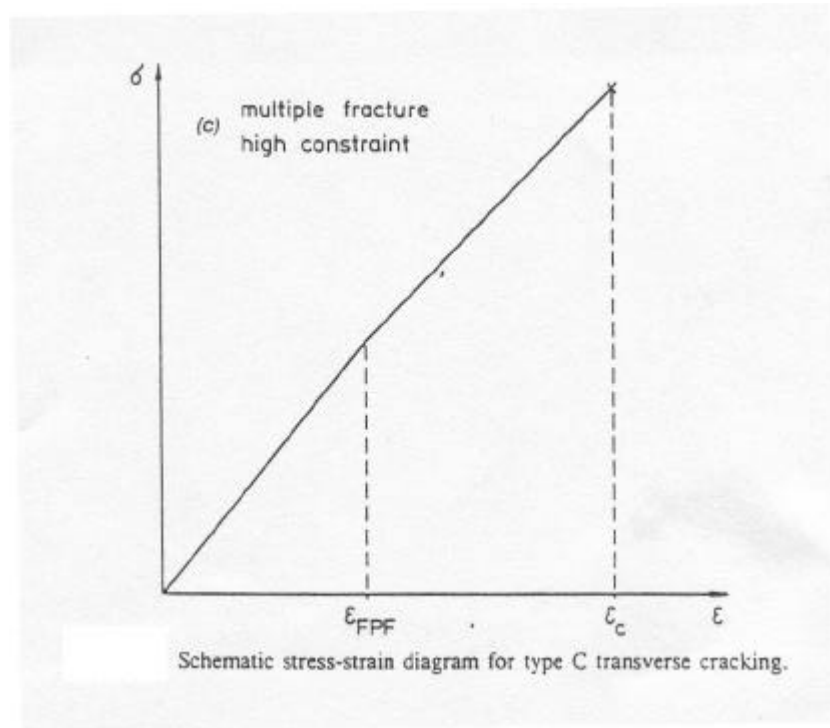


圖 3-7 高束制 (high constraint) 下拉伸破壞應力應變曲線 C type[27]

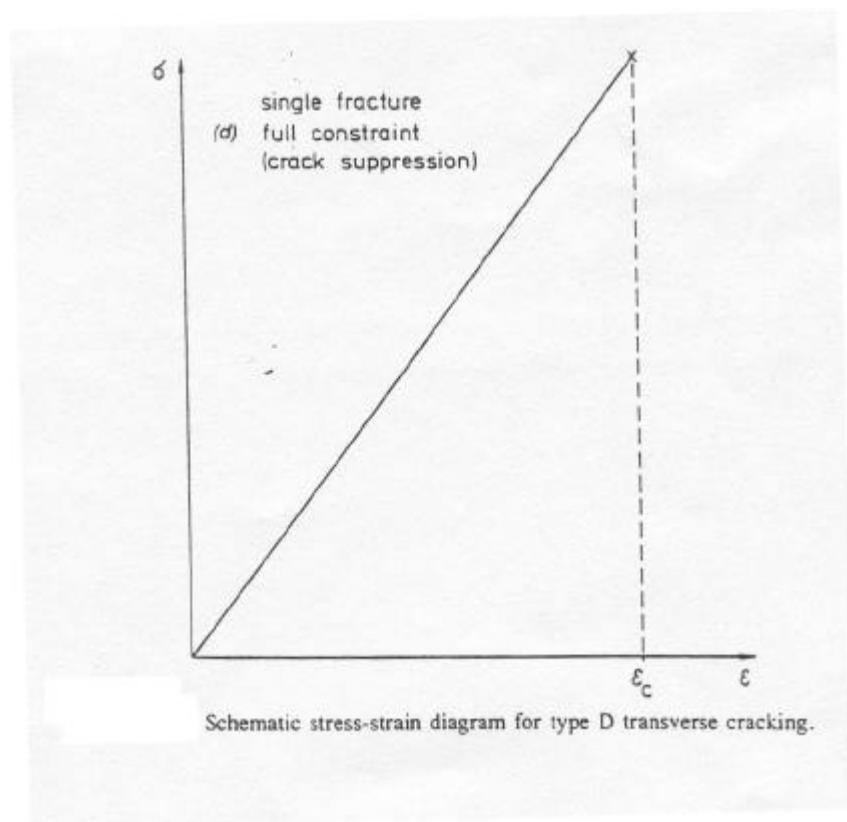


圖 3-8 全束制 (full constraint) 下拉伸破壞應力應變曲線 D type[27]

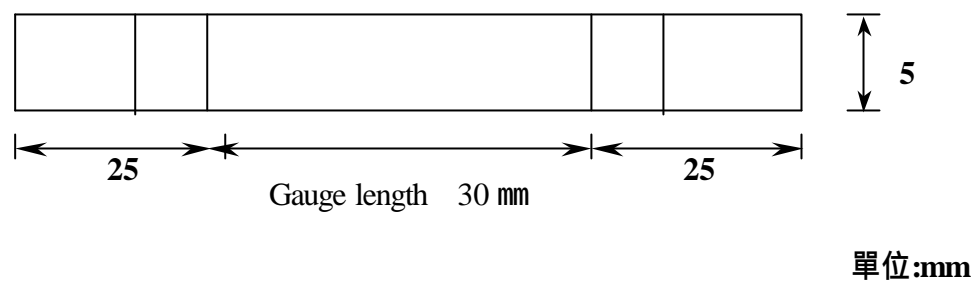


圖 4.1 試片尺寸圖

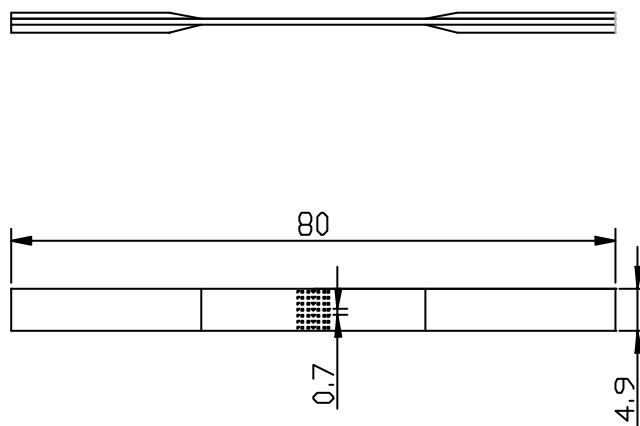


圖 4-2 型式(一)孔心間距 0.7 mm，試片寬 4.9 mm

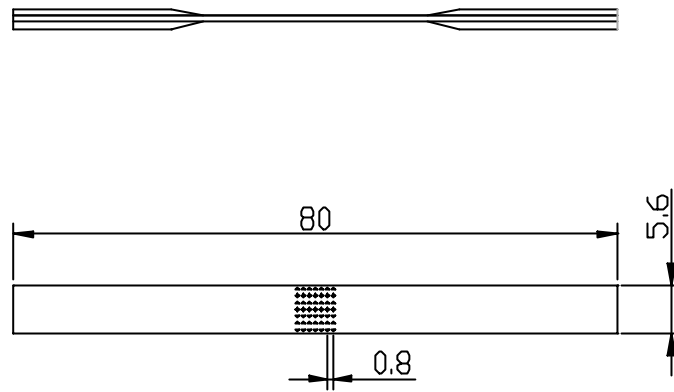


圖 4-3 型式(二)孔心間距 0.8 mm，試片寬 5.6 mm

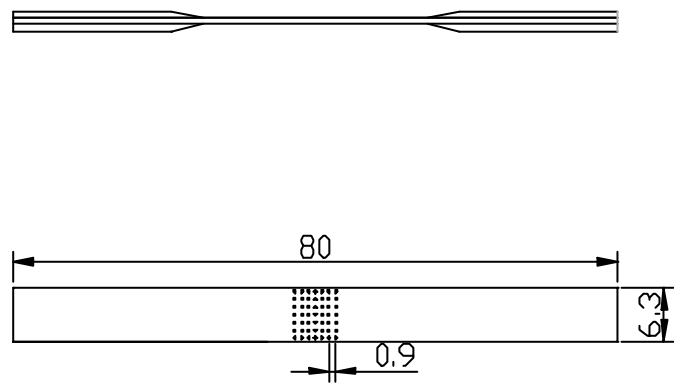


圖 4-4 型式(三)孔心間距 0.9 mm，試片寬 6.3 mm

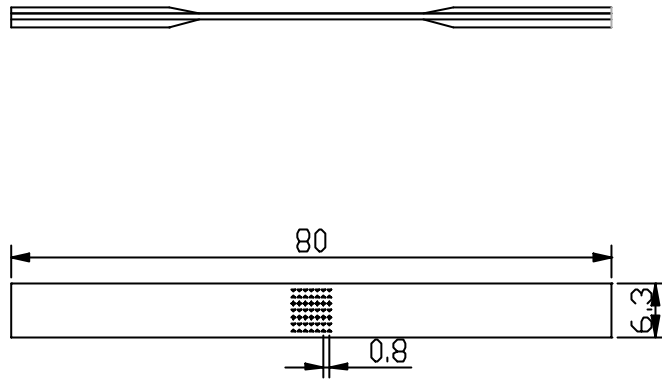


圖 4-5 型式(四)孔心間距 0.8 mm，試片寬 6.3 mm

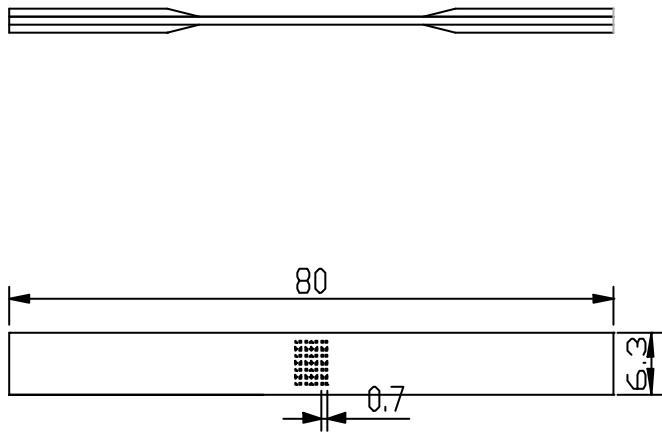


圖 4-6 型式(五)孔心間距 0.7 mm，試片寬 6.3 mm

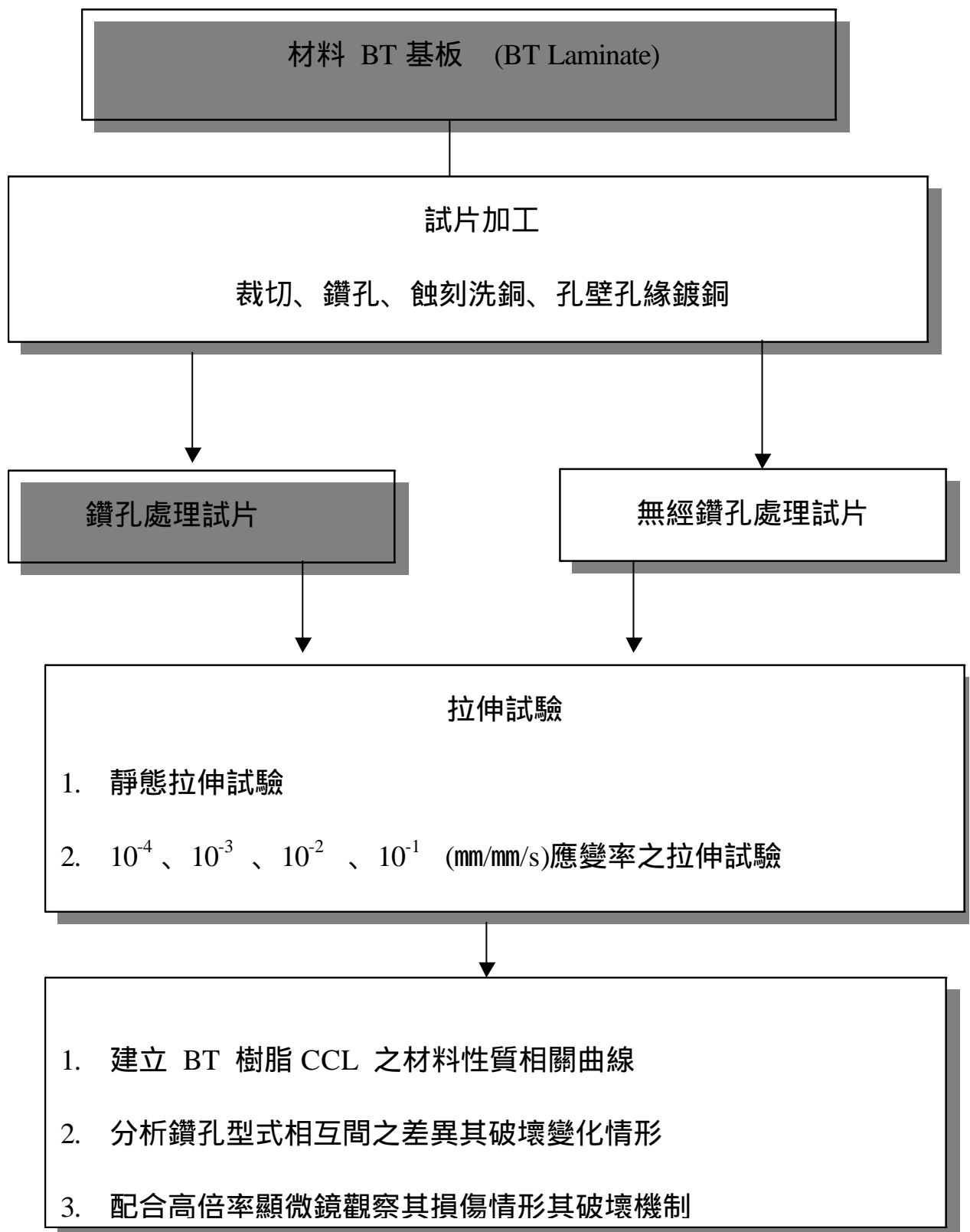


圖 4-7 實驗流程圖

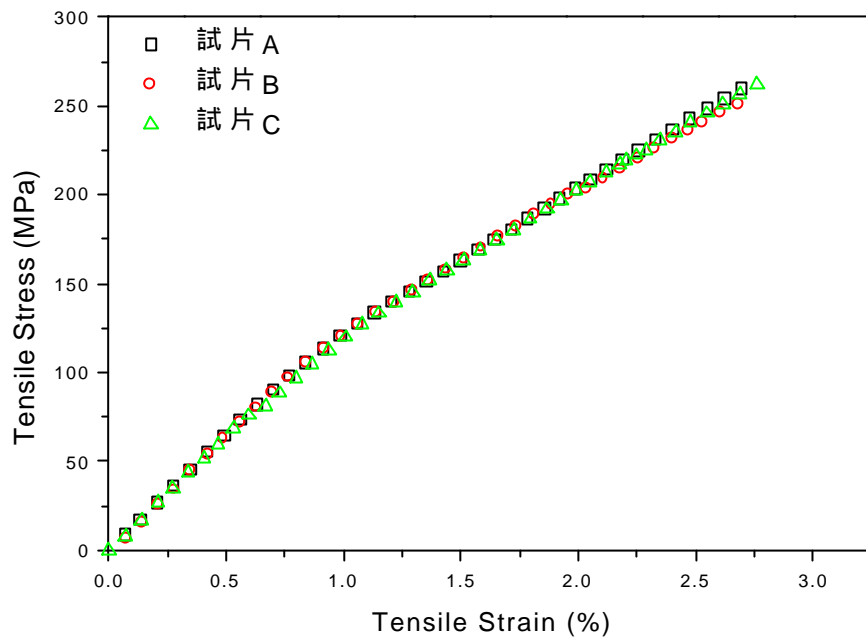


圖 5-1 BT 積層板靜態拉伸(10^{-5} mm/mm/s)應力應變曲線

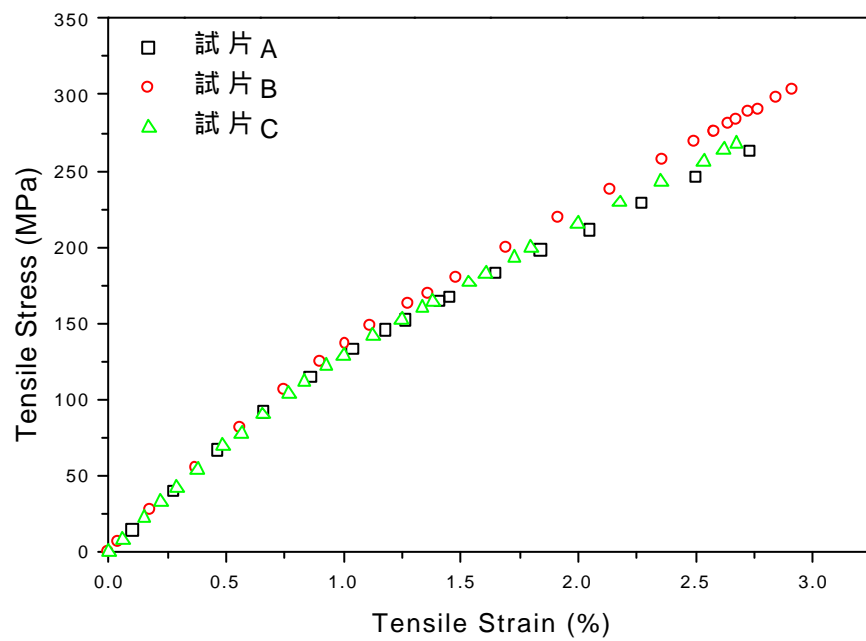


圖 5-2 BT 積層板拉伸試驗(10^{-4} mm/mm/s)應力應變曲線

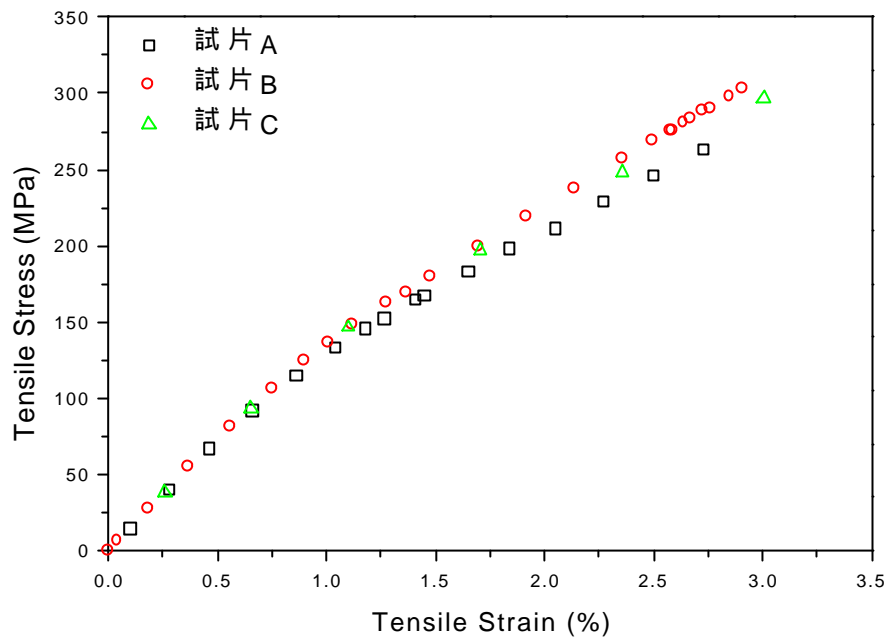


圖 5-3 BT 積層板拉伸試驗(10^{-3} mm/mm/s)應力應變曲線

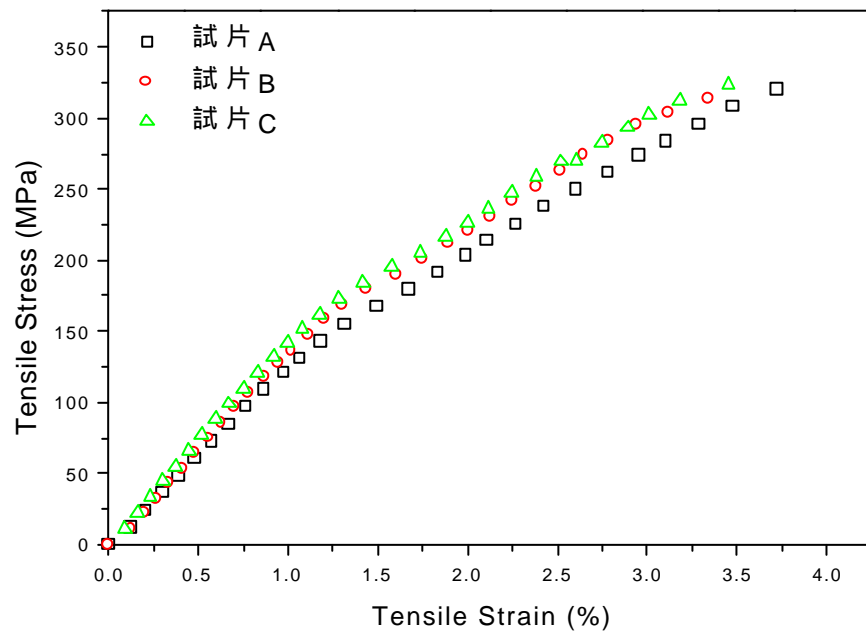


圖 5-4 BT 積層板拉伸試驗(10^{-2} mm/mm/s)應力應變曲線

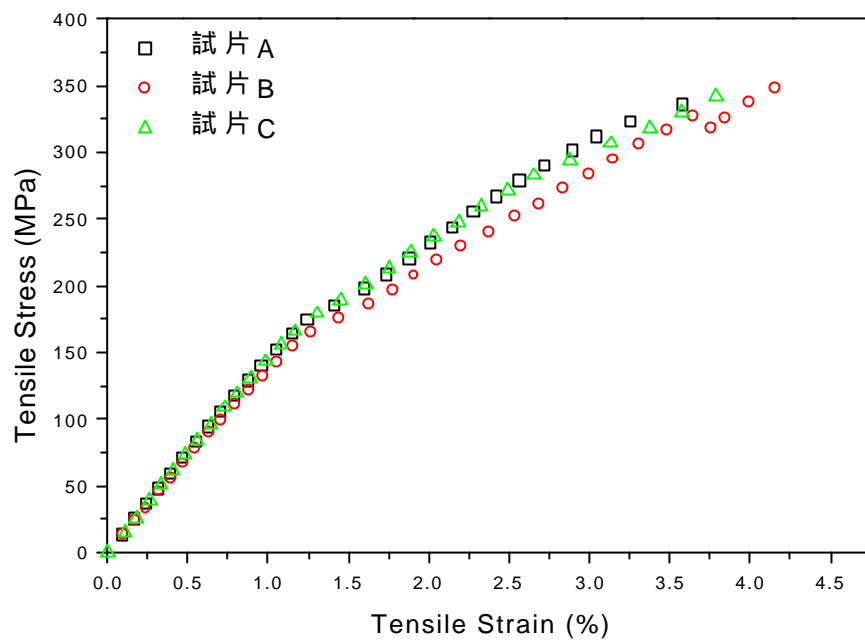


圖 5-5 BT 積層板拉伸試驗(10^{-1} mm/mm/s)應力應變曲線

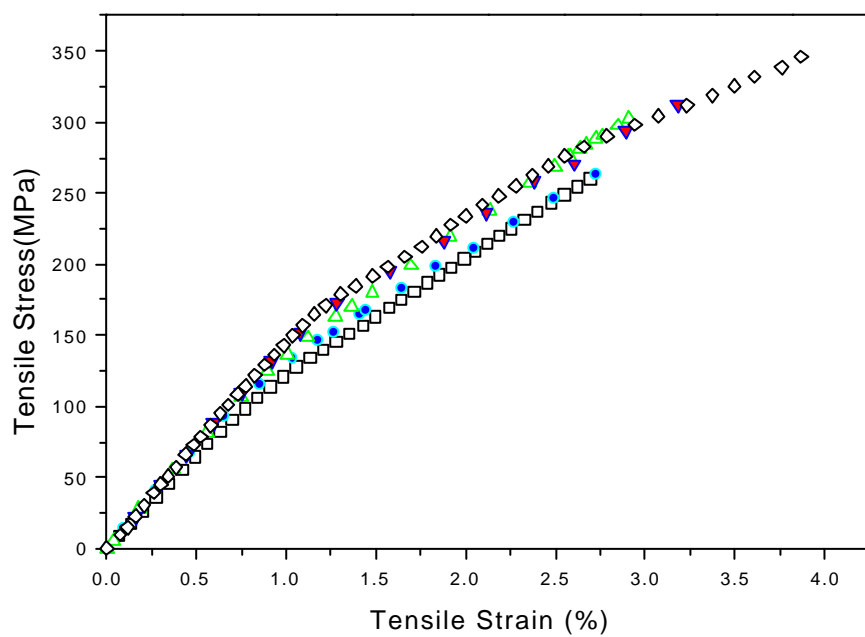


圖 5-6 BT 積層板拉伸試驗五種不同應變率下應力應變曲

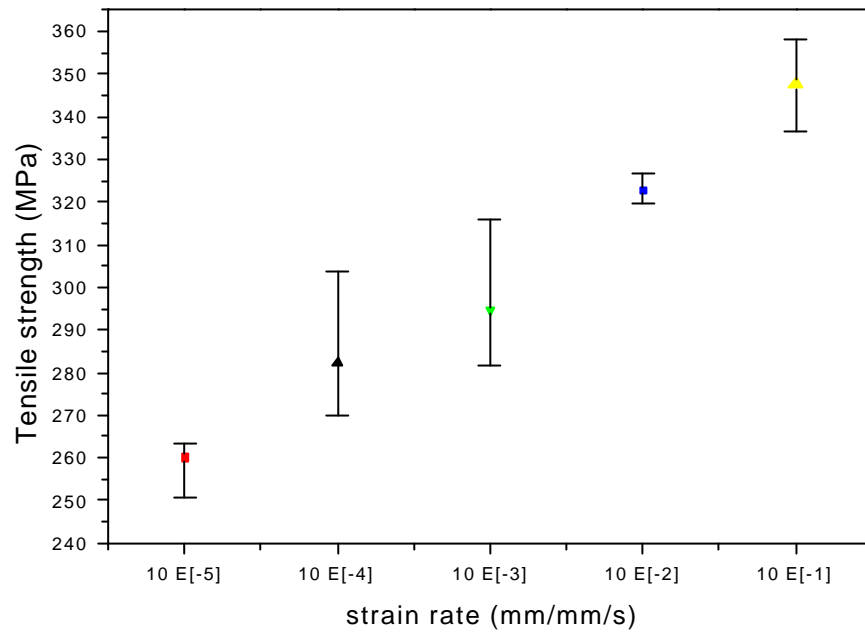


圖 5-7 BT 積層板在不同等級拉伸應變率下之拉伸破壞強度

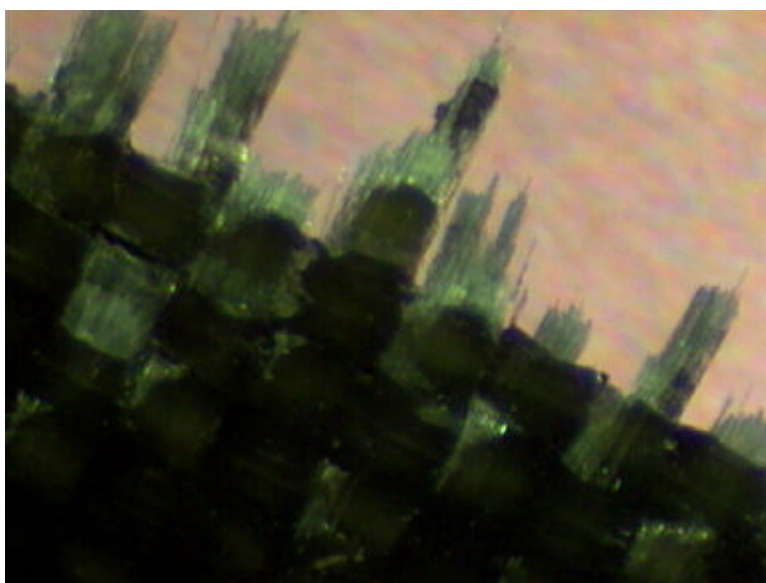


圖 5-8.a $10e-5$ 應變率拉伸破壞斷面圖

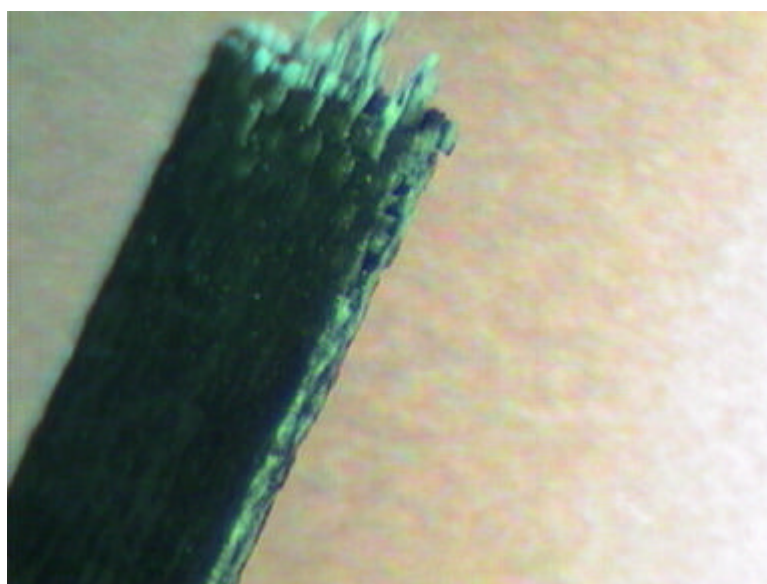


圖 5-8.b $10e-5$ 應變率拉伸破壞斷面圖(試片寬 5mm)

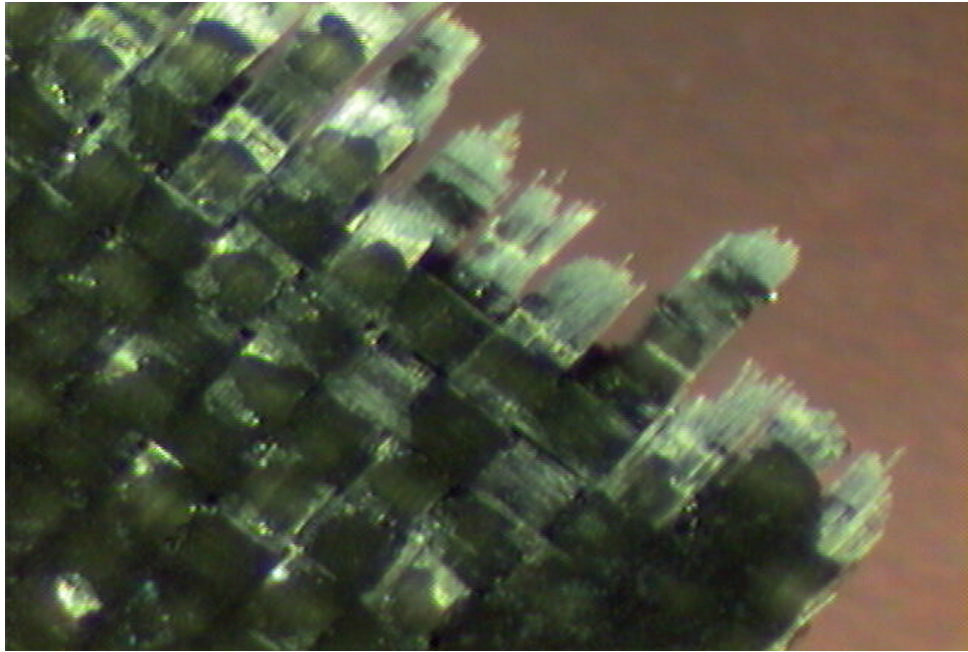


圖 5-9.a 10e-1 應變率拉伸破壞斷面正視圖

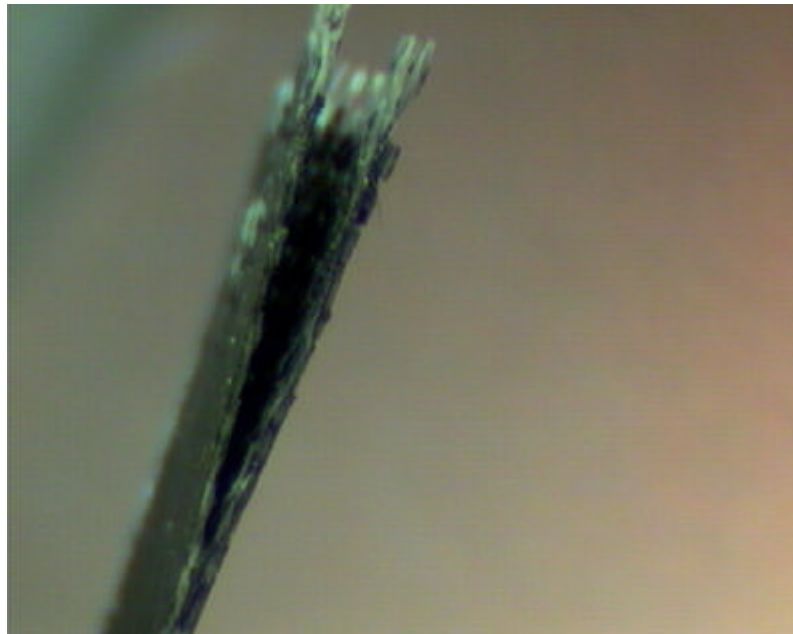


圖 5-9.b 10e-1 應變率拉伸破壞斷面側圖

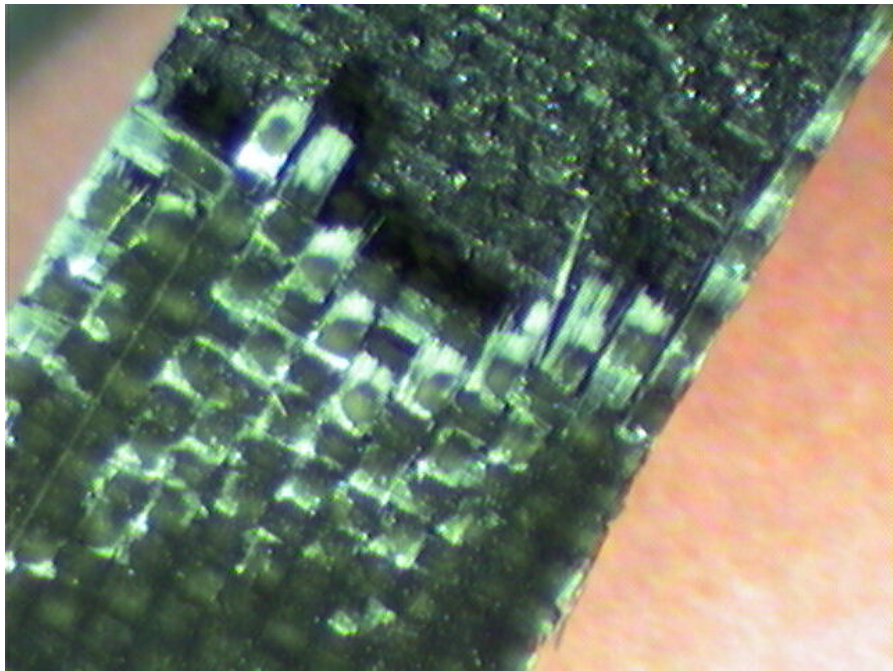


圖 5-9.c 10e-1 應變率拉伸破壞脫層圖(寬 5mm)

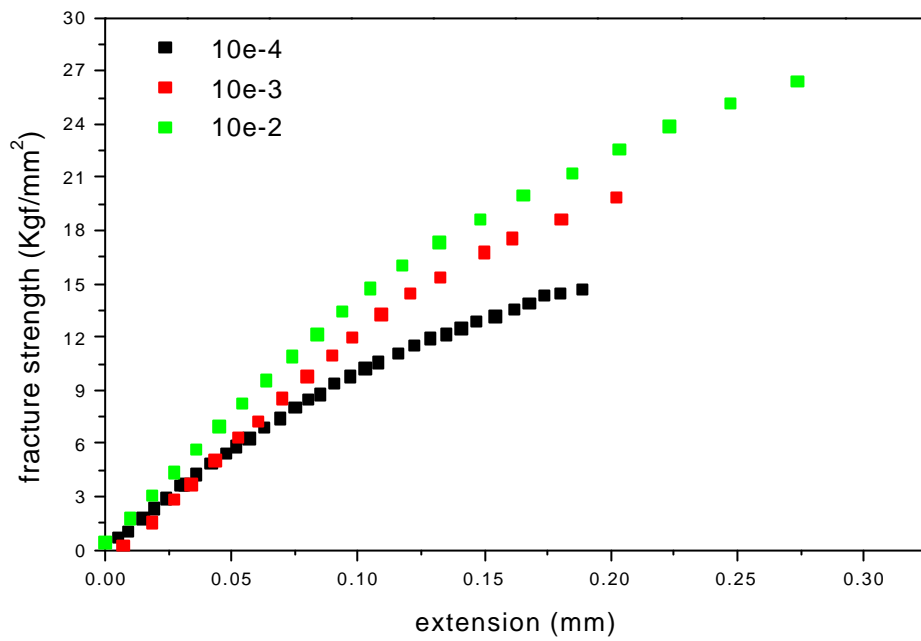


圖 5-10 .a 型式 (一) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸測試

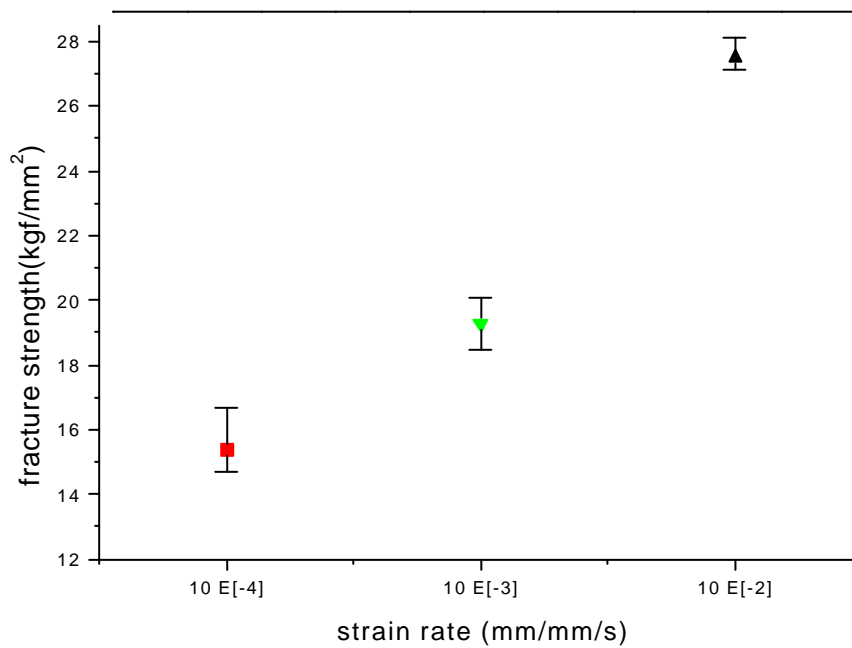


圖 5-10 .b 型式 (一) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸強度比較

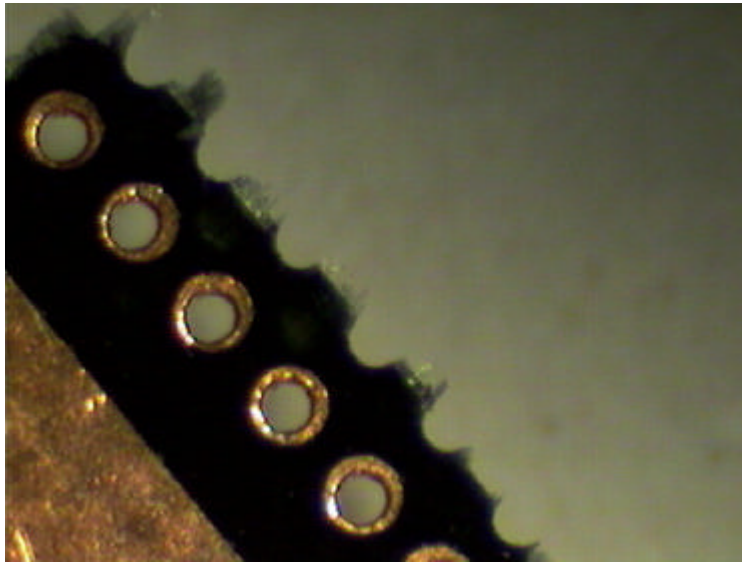


圖 5-11 鑽孔試片的破壞斷面

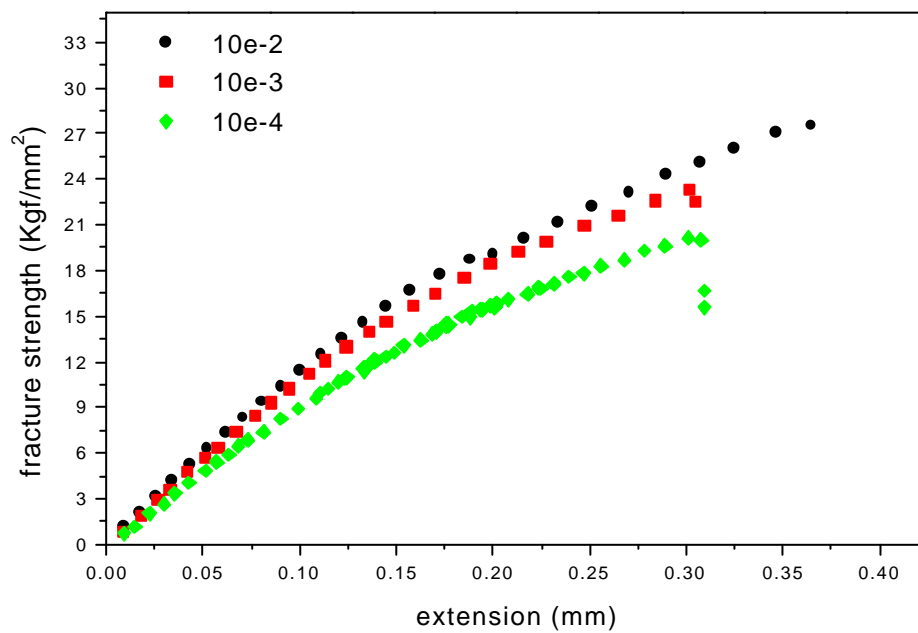


圖 5-12 a 型式 (二) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸測試

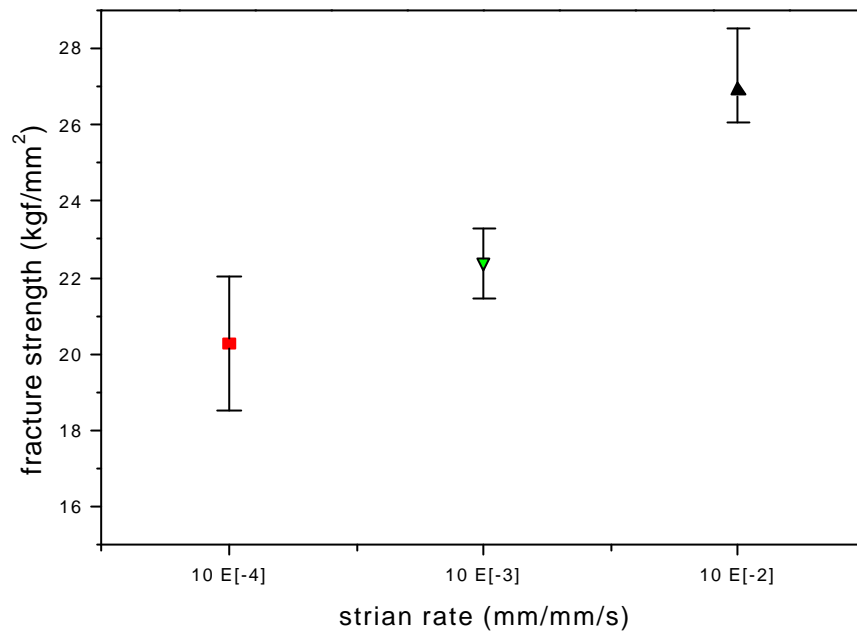


圖 5-12.b 型式 (二) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸強度比較

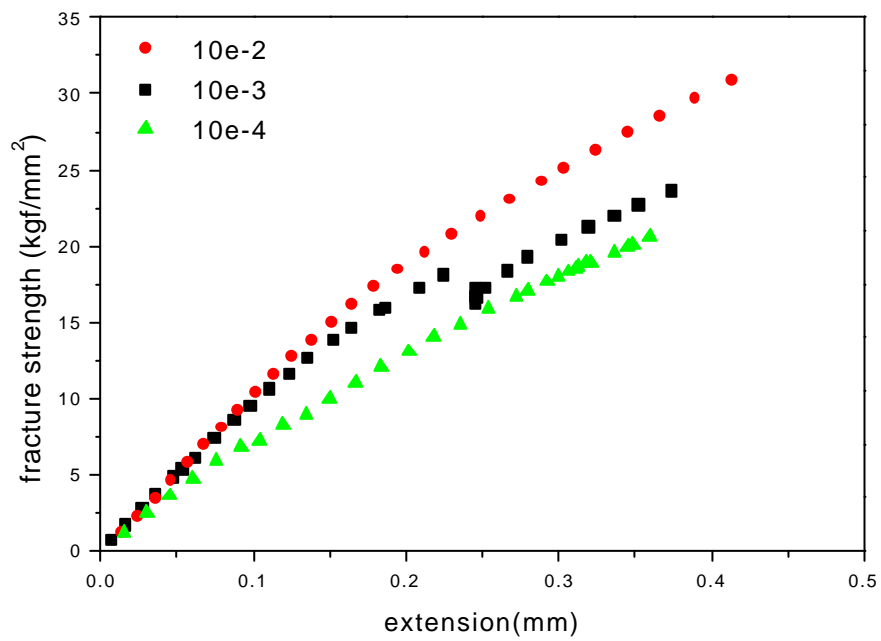


圖 5-13 a 型式 (三) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸測試

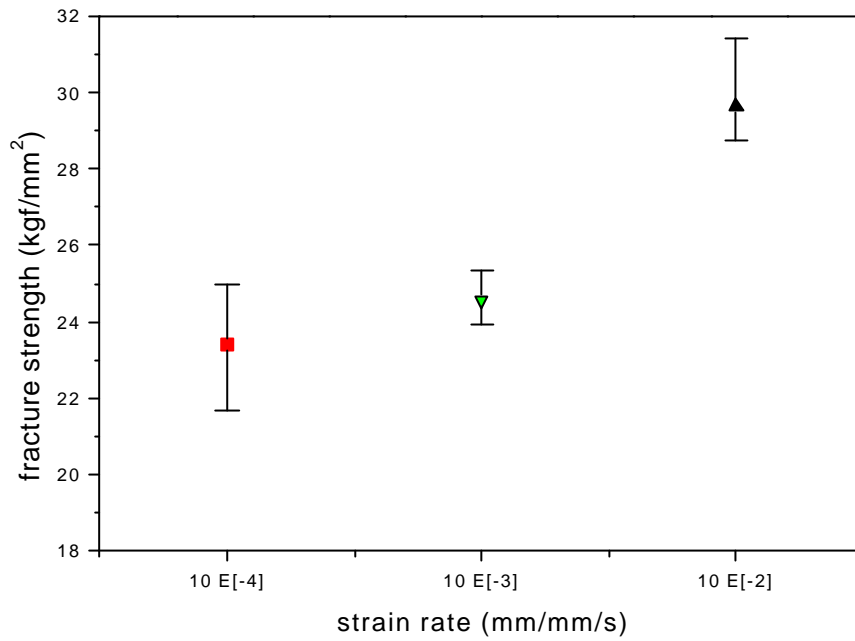


圖 5-13 .b 型式（三）鑽孔試片在不同應變率下之拉伸強度比較

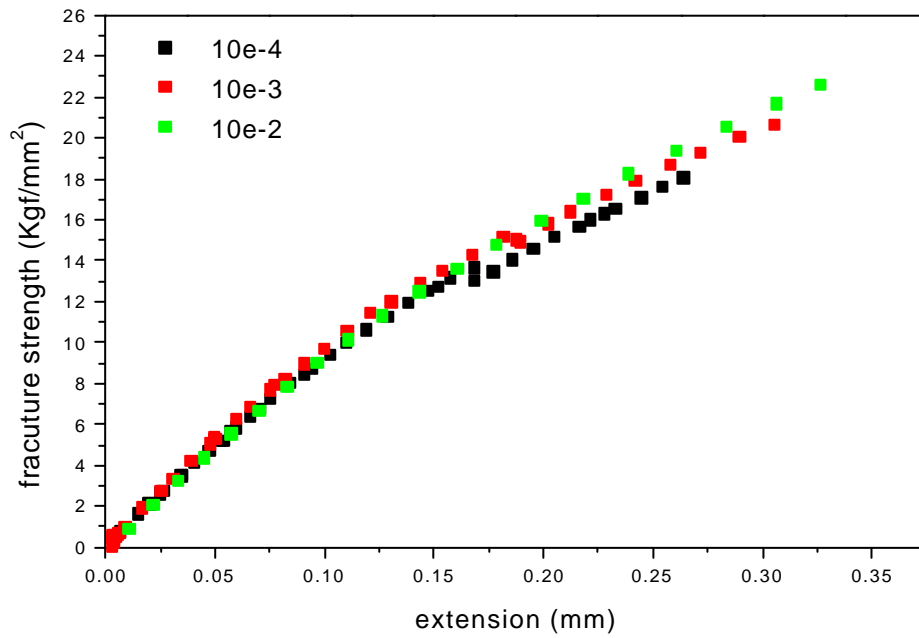


圖 5-14 a 型式（四）鑽孔試片在不同應變率下之拉伸測試

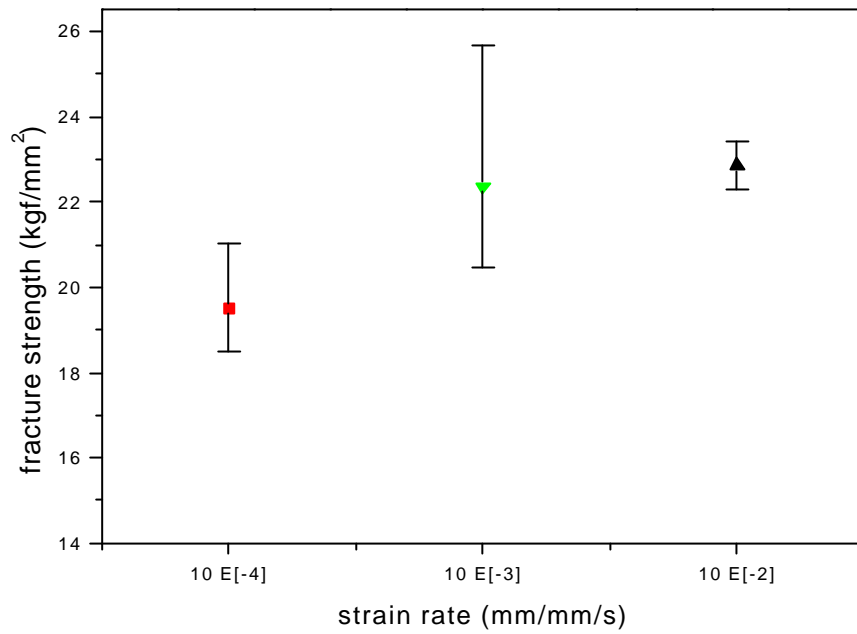


圖 5-14 .b 型式（四）鑽孔試片在不同應變率下之拉伸強度比較

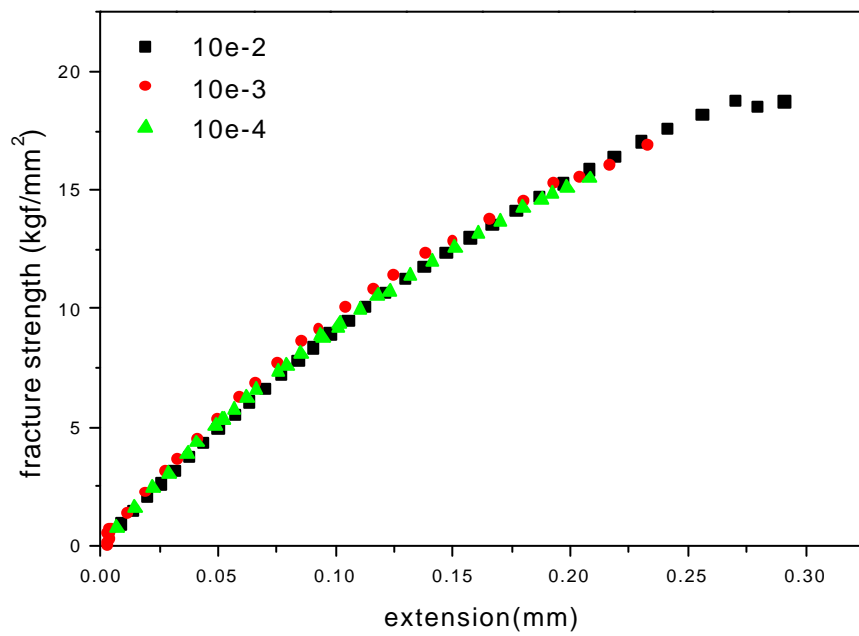


圖 5-15 型式（五）鑽孔試片在不同應變率下之拉伸測試

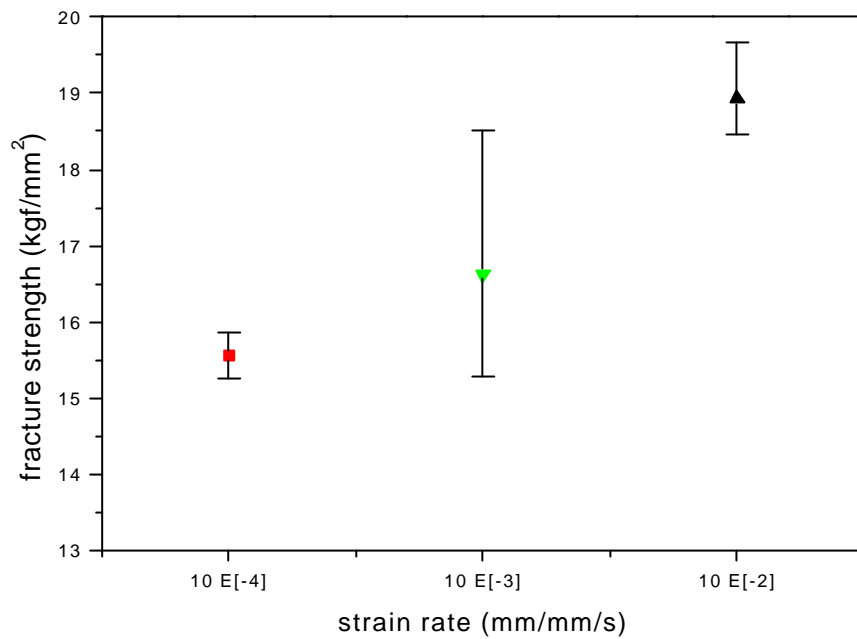


圖 5-15.b 型式 (五) 鑽孔試片在不同應變率下之拉伸強度比較

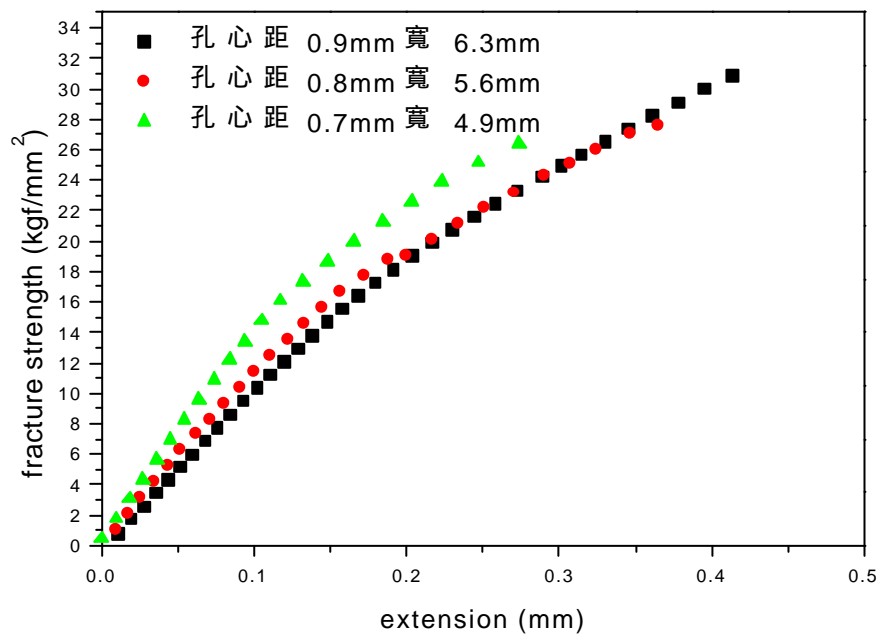


圖 5-16 孔心間距改變下試片在應變率 10^{-2} 下之拉伸測試

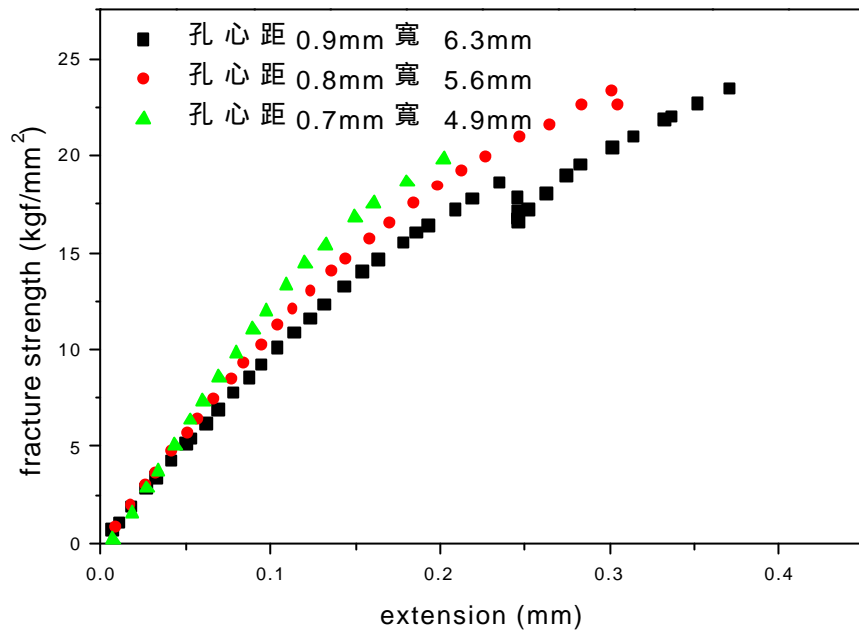


圖 5-17 孔心間距改變下試片在應變率 10^{-3} 下之拉伸測試

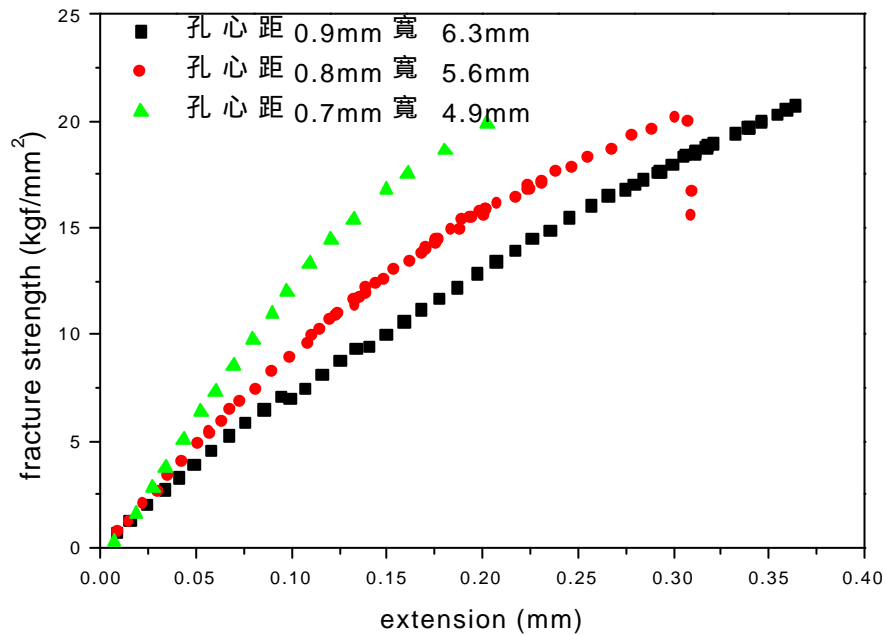


圖 5-18 孔心間距改變下試片在應變率 10^{-4} 下之拉伸測試

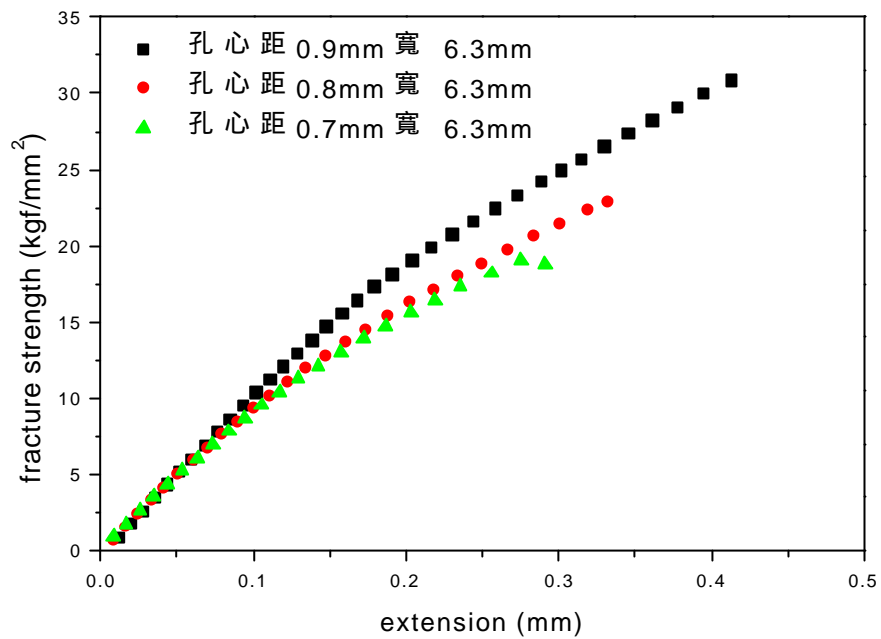


圖 5-19 相同試片寬度孔心間距改變下試片在應變率 10^{-2} 拉伸測試

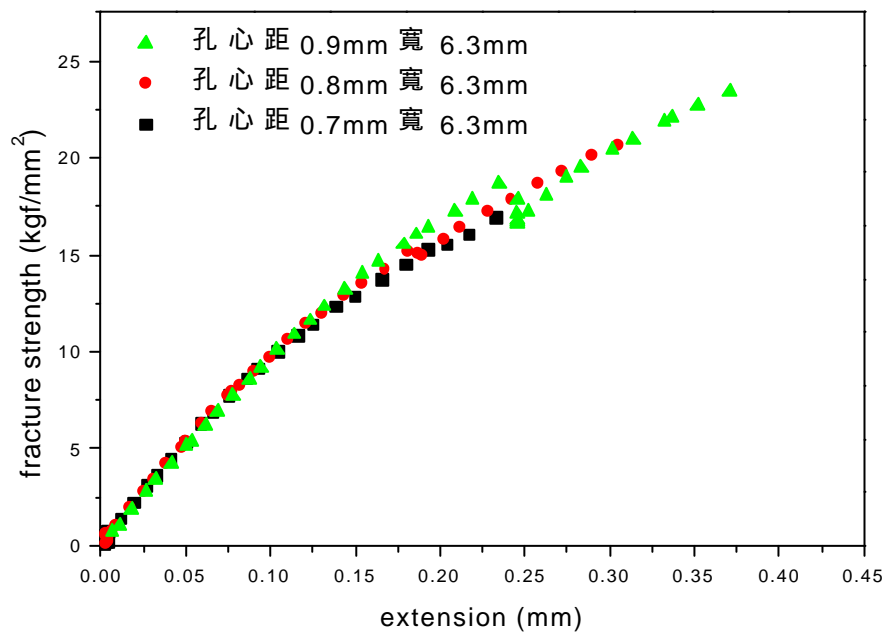


圖 5-20 相同試片寬度孔心間距改變試片在應變率 10^{-3} 下之拉伸測試

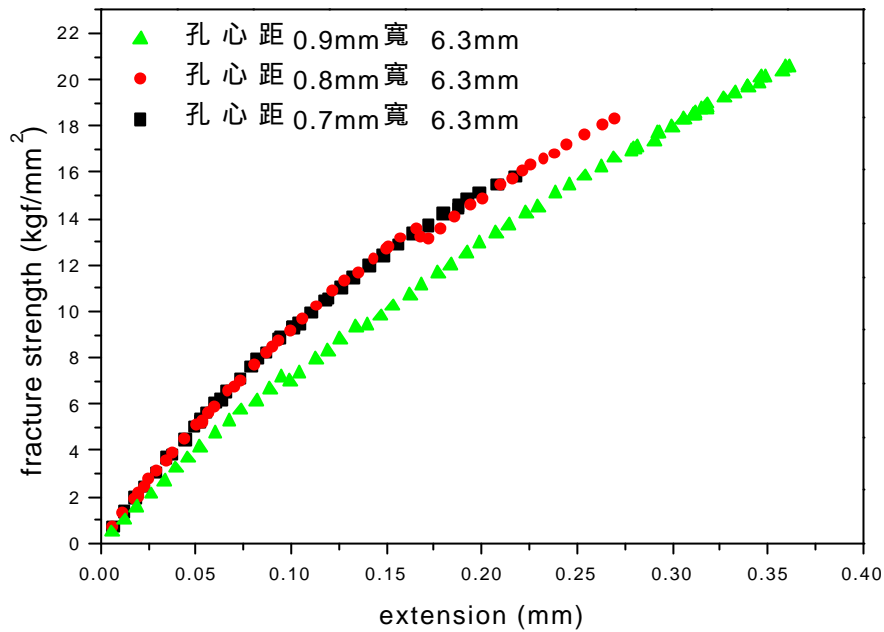


圖 5-21 相同試片寬度孔心間距改變下試片在應變率 10^{-4} 下拉伸測試

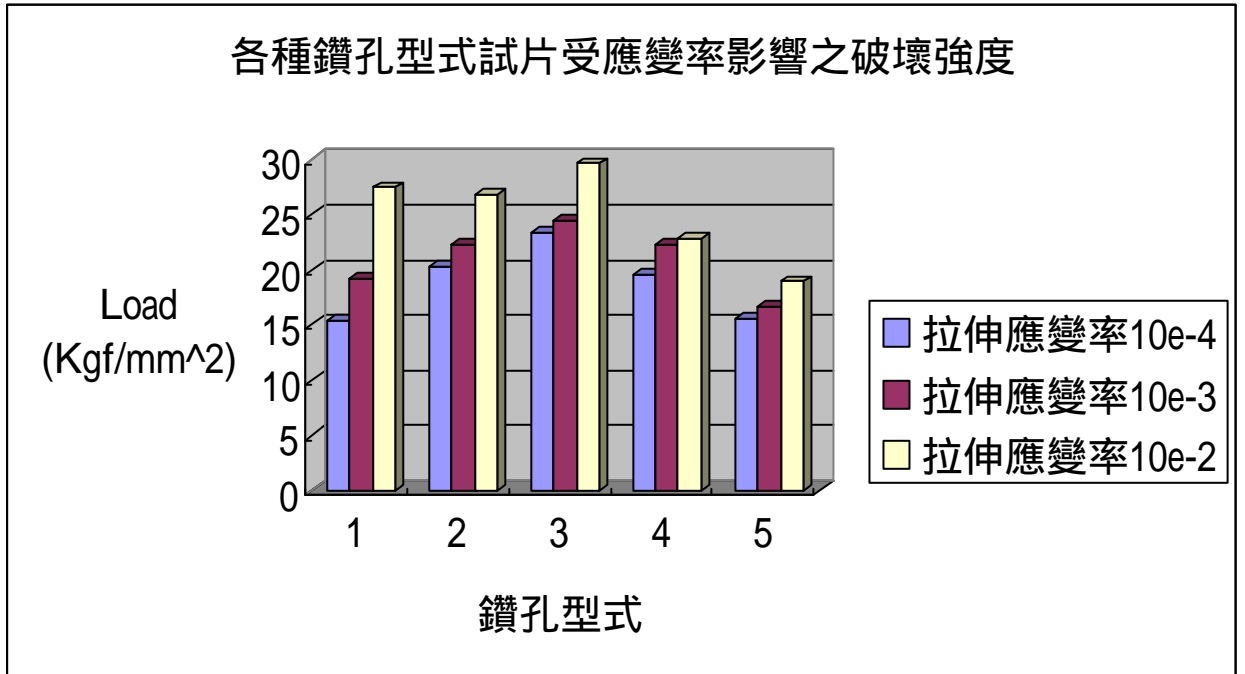


圖 5-22 各應變率拉伸鑽孔型式試片與其平均破壞強度比較圖

