

## 數位影像裂縫成長之研究

# The Research of Crack Growth by Digital Image

謝宏榮<sup>1</sup>

陳韋榮<sup>2</sup>

Shei hung-jung

chen wei-jung

<sup>1</sup> 中華科技大學機械工程系副教授兼教務長

中華科技大學機電光研究所碩士班學生

China University of Science and Technology

### 摘要

此研究係以利用雷射的折射原理形成焦散法來量測，焦散法是以雷射當光源，因試片在受負荷後，導致在裂縫尖端附近產生應力集中，造成試片厚度及光折射率的變化，進而透過影像處理系統來觀察其裂縫尖端產生的黑影直徑變化並紀錄下來，實驗數據透過 Excel 建立圖表觀察，分別整理出其斷裂前施力、裂縫長度、直徑、和應力擴大係數的相互關係，並分析及預測材料發生斷裂最終的施力範圍以及其他可預知的相關性。裂縫尖端因受施力後形成高應變區產生的條紋重疊，利用焦散法量測即可解決克服其它光學量測上的困難，並且在環境操作上也相當簡易。

關鍵詞：焦散術，雷射，裂縫

### Abstract

This research utilized the principle of laser reflection to form caustics to observe the crack growth. When a material subjected to a load, stress concentration near the crack peak changes the thickness and the reflection of light. A CCD image system was used to record the shadow diameter. Excel was used to establish figures for comparison. The relationships between the crack length, diameter, and stress concentration factor before crack were established.

Keywords : caustics, Laser, crack

## 壹、前言

當一結構上有裂縫，並不意謂著它馬上就會斷裂，而且是肉眼無法去看到試片表面上的變化，雖然目前有很多光學方法例如全像、班點、疊紋、干涉、光彈等，都可用來探討破壞力學中裂縫(Crack)應力集中的現象，但由於破裂前的裂縫面是一個高應變區，使其裂縫尖端邊緣產生很多的條紋，因此解析起來總是存在一些難以克服的困擾。疊紋的方法通常不是觀察裂縫尖端的良好方法，因其裂縫尖端邊緣的條紋密度太高而不能清楚辨別。其它如全像、班點，和焦散方法應用在破裂面上也各有不同應用範圍。到目前為止，儘管焦散術的應用並未在破壞力學的領域盛行，但如果要觀察裂縫尖端的應力變化情形，仍以焦散術的方法來分析破裂力學對於裂縫尖端應力集中及應力強度最為可行【1】。

在 1964 年時，由德國的 Manogg 提出穿透式焦散的構想，並應用在平板裂縫的量測上【2】。1969 年時，希臘 Theocaris 開始根據 Manogg 的理論發展出反射式焦散術的技術【3】。此後焦散術在破壞力學的領域中漸漸發展，到目前為止儘管許多破壞力學的書籍未提及焦散術的應用，但在許多破壞力學的學者卻深信解決裂縫尖端應力變化的方法仍以焦散術最為可行。

## 貳、原理

疲勞破壞一般可分為三個階段，依次為裂縫起始、裂縫延伸與急速破壞三階段，以下為各階段介紹【4】：

### 一、裂縫起始期

在此階段，因材料反覆受到應力作用，導致原本平滑的表面產生壓入物與擠出物成差排，使得應力集中導致裂縫產生與成長。

### 二、裂縫延伸期

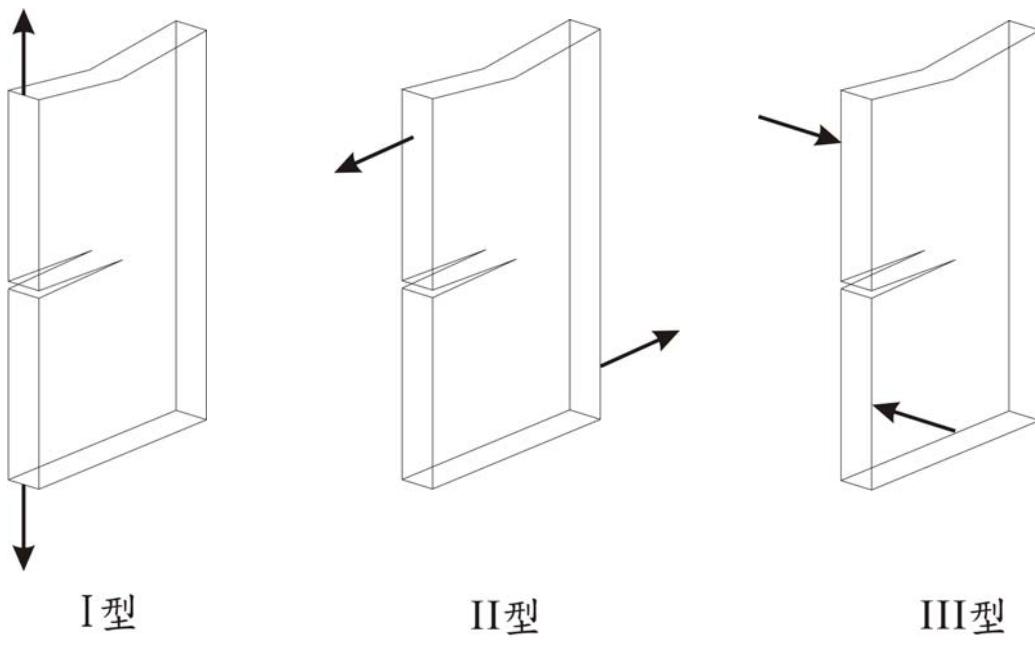
當材料本身含有缺陷或經裂縫起始的過程中產生小裂縫，經反覆應力作用下，裂縫逐漸成長，裂縫延伸部分趨近於一條直線，裂縫延伸速度可由應力強度因子幅來評估。

### 三、急速破壞

裂縫成長至某一長度時，構建承受不住負荷而斷裂，裂縫進入急速破壞階段時，構件將迅速斷裂，因此階段耗費時間太短，故作疲勞壽命評估時僅考慮裂縫

起始與裂縫延伸階段。

破壞力學依據受力情況與斷裂特性分成三種基本類型。如圖一，張裂型（或簡稱 I 型 Mode I）、如圖二，剪裂型（或簡稱 II 型 ModeII）、如圖三，扭裂型（或簡稱 III 型 ModeIII）



圖一、張裂型

圖二、剪裂型

圖三、扭裂型

### 焦散術原理

當一道雷射光經過空間濾波器產生聚焦，將其光束發散至欲量測的試片上，此聚焦發散的行為稱為焦散。當材料受一負荷時使材料受力變形，此時在裂縫尖端會發生厚度的變化，導致光在通過裂縫時產生折射，使得投影在屏幕上出現黑影，此黑影直徑的變化即為要觀察的目標【1】。

### 穿透式焦散儀器常數 C 值的計算

實驗中 C 值經由下式可得：

$$C = \frac{Z_o + Z_i}{Z_i} \quad [1]$$

公式中， $Z_o$ ：試片與屏幕距離

$Z_i$ ：光源與試片的距離

### 應力擴大系數 K 值的計算

$$K = \left( \frac{1.671}{Zot|Co|} \right) \times \left( \frac{1}{C^{1.5}} \right) \times \left( \frac{D}{3.16} \right)^{2.5} \quad 【1】$$

公式中，t 代表試片厚度(mm)

Co 代表材料常數(壓克力  $-1.03 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kgf}$ )

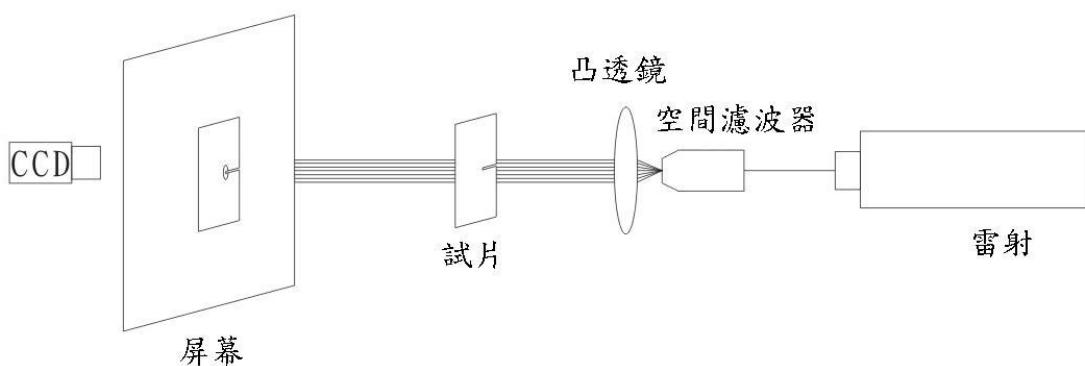
C 代表實驗儀器常數

D 代表所測量黑影直徑(mm)

## 參、研究方法與材料

### 焦散光學量測系統架設

將實驗用的試片放置在雷射與空間濾波器之後，並將空間濾波器後聚焦擴束之雷射光源，透過凸透鏡使雷射光線平行的投射至試片的裂縫頂端，之後在屏幕上會呈現試片的影像，再透過影像處理系統顯示在電腦上，架設圖如圖四所示。在架設中所有儀器，包括觀察的裂縫高度必須成一直線，否則在 CCD 所觀察到的直徑影像會產生誤差【5, 6】。



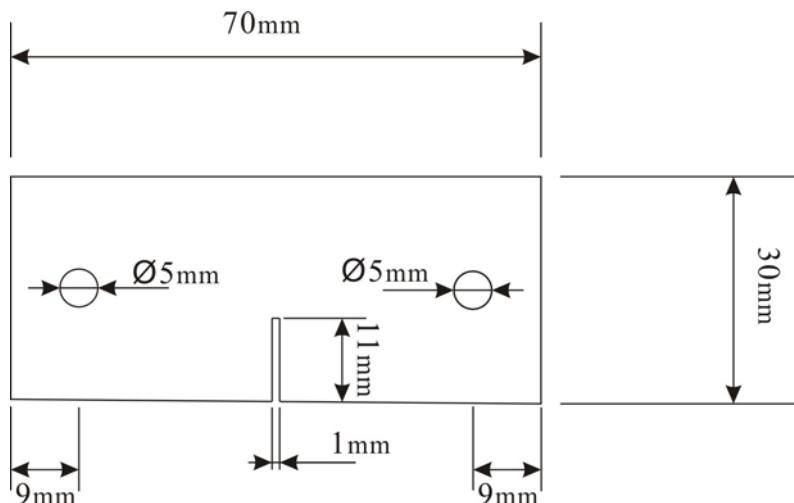
圖四、實驗架設圖

### 焦散量測系統所需設備及材料

- (1) 氦氮雷射，15mW，波長 632.8nm
- (2) 空間濾波器
- (3) 凸透鏡
- (4) 試片
- (5) 拉伸試驗儀
- (6) 影像處理系統
- (7) 屏幕

### 試片的準備

本實驗中試片材質為壓克力，試片長為 70mm，寬為 30mm，厚 1.5mm，裂縫為長 11mm、12 mm、13 mm、14 mm，寬為 1mm 以下，如圖五所示。



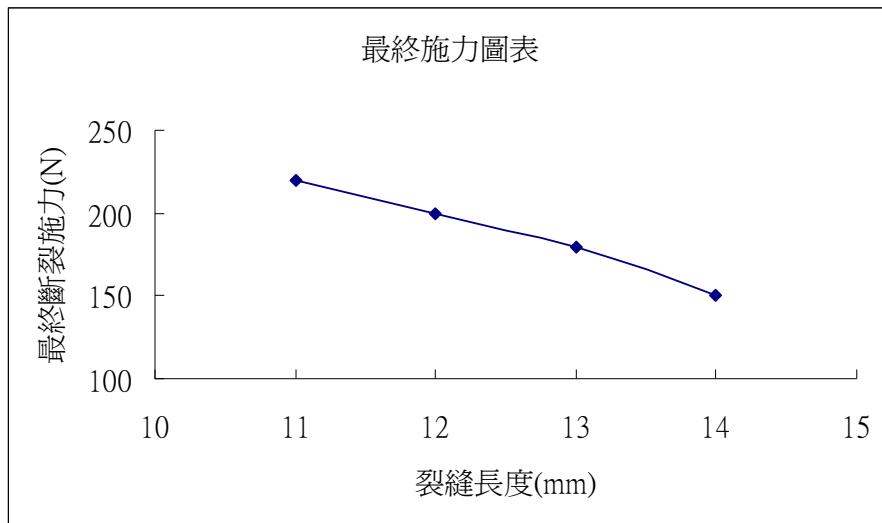
圖五、試片尺寸

### 量測操作步驟

- (1) 將試片架設至拉伸試驗儀上
- (2) 將雷射光經過空間濾波器之後聚焦擴束
- (3) 經由凸透鏡擴束平行發散至試片的裂縫頂端，成像至屏幕上
- (4) 使用拉伸試驗儀增加試片負荷
- (5) 利用影像處理系統觀察在屏幕上影像

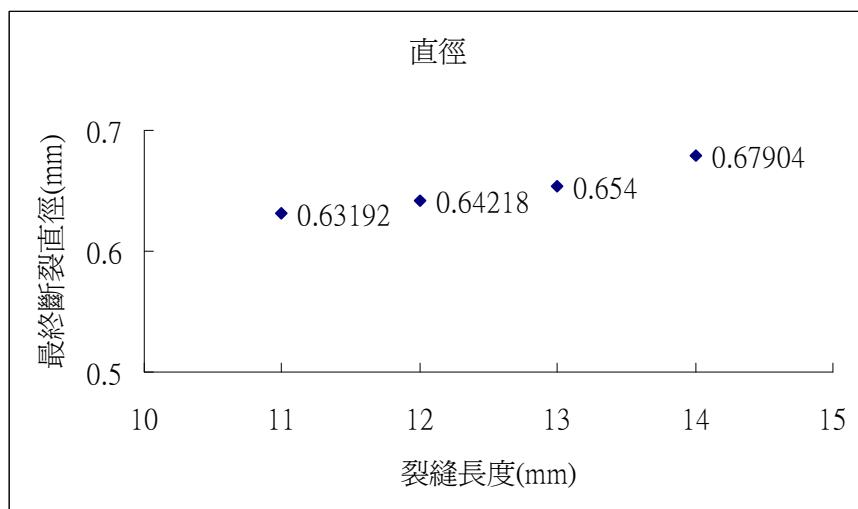
## 肆、結果與討論

以在穿透式焦散上觀察各種不同尺寸的裂縫，在持續增加施力的情況下其不同裂縫長度與最終施力斷裂點的關係，如圖六



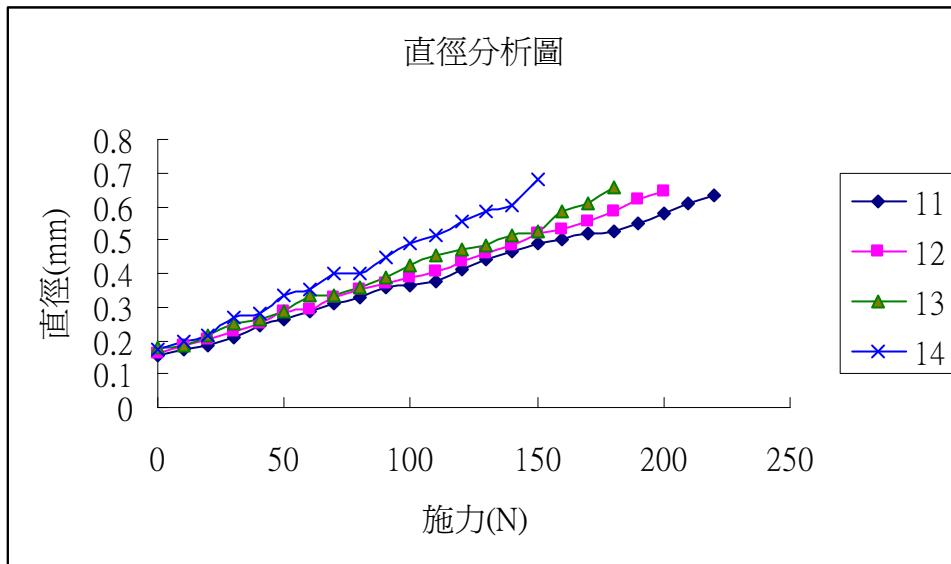
圖六、不同裂縫長度與最終施力斷裂點的關係

由圖六可以發現當試片裂縫長度在 11mm 時，其最終的斷裂施力點在 220N，但是當裂縫長度到了 12mm 時，最終的斷裂點開始提前至 200N，再到了 13mm 時，又提前到了 180N，最後 14mm 時更是提前到 150N。由上述情形可發現，當裂縫長度越長時，其最終斷裂的施力點將會越來越少，斷裂的越來越快。



圖七、裂縫長度與裂縫尖端直徑關係

另外在圖七，裂縫長度與裂縫尖端直徑關係圖中，可以發現當裂縫長度為11mm時其斷裂直徑為0.63192mm，12mm時則為0.64218mm，之後13mm、14mm分別為0.654mm與0.67904mm，在圖中發現雖然裂縫長度越長時，其斷裂直徑也會越來越大，另外亦發現到四種不同裂縫尺寸的最終斷裂直徑皆在0.6mm至0.7mm之間，也就是當發現直徑超過0.6mm時，即差不多材料將要斷裂的時間點要到了。



圖八、直徑分析圖

在圖八直徑分析圖中，可以發現當裂縫尺寸越大時其曲線越陡，進而影響了最終斷裂的施力點，在直徑尺寸的成長上未必會隨著施力的增加而以比例的成长，反而有忽大忽小的情形，但最終斷裂的直徑尺寸皆在上述所說的範圍中斷裂，從圖上可以發現當黑影直徑到達0.6mm時，應注意材料即將斷裂。

## 五、結論

利用焦散法檢測其材料裂縫在成長過程中擴張情形，經過實驗後，目前已可觀察到各種尺寸發生斷裂前的關係點，在往後試片的切割仍可繼續發展更加精準的裂縫切割方法，並嘗試加入其他變因的試片觀察加以驗證其成長的相關性與準確性。

## 參考文獻

- 1.林宸生。光電精密量測。1993。全新資訊。P353-357
- 2.Manogg P. Schottenoptische messung des spezifischen bruhenergie wahrend des bruchvorgangs bei Plexiglas. In: Proocedings if the International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids. Delft, The Netherlands;(1964).P.481-490.
- 3.Theocaris PS. Elastic stress intensity factors evaluated by caustics. The Hague:Martinus Nijhoff Publishers;(1981). P.189-252.
- 4.J.L.Zhang , S.L.Bai , D.L.Liu ,Q.X.Zhang , Z.Z.Yu, Caustic study on stress singularities in polypropylene/CaCO<sub>3</sub> nanocomposites with nonionic modifier (2006),238-340
- 5.賴耿陽。應力、應變解析原理。1987。復漢出版社。P129-133
- 6.Julie A. Bannantine, Jess J. Comer, James L. Handrock, Fundamentals of Metal Fatigue Analysis,Prentice Hall,Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

表一、試片檢測直徑

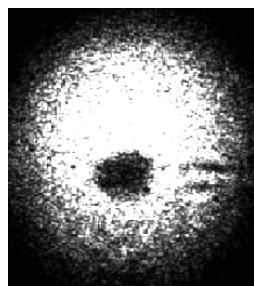
施力	長度 11mm	長度 12mm	長度 13mm	長度 14mm
0	0.155	0.161	0.179	0.172
10	0.173	0.185	0.185	0.194
20	0.186	0.205	0.216	0.215
30	0.208	0.227	0.249	0.270
40	0.247	0.248	0.261	0.279
50	0.261	0.285	0.285	0.332
60	0.287	0.294	0.333	0.355
70	0.308	0.331	0.335	0.400
80	0.330	0.354	0.359	0.401
90	0.356	0.370	0.388	0.448
100	0.366	0.387	0.423	0.487
110	0.378	0.407	0.454	0.516
120	0.414	0.438	0.470	0.555
130	0.443	0.462	0.484	0.586
140	0.463	0.486	0.515	0.600
150	0.488	0.519	0.523	0.679
160	0.499	0.534	0.585	
170	0.519	0.554	0.608	
180	0.523	0.586	0.654	
190	0.550	0.623		
200	0.580	0.642		
210	0.607			
220	0.631			

11mm

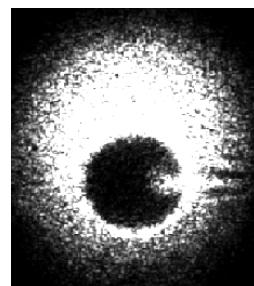
0N



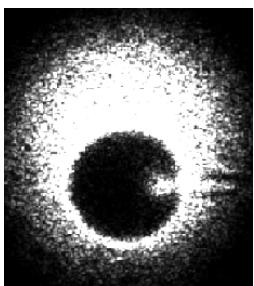
50N



140N



220N

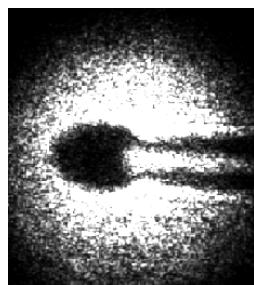


12mm

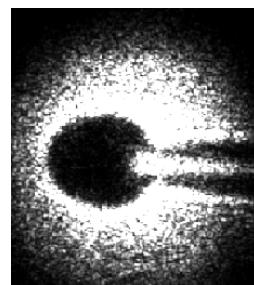
0N



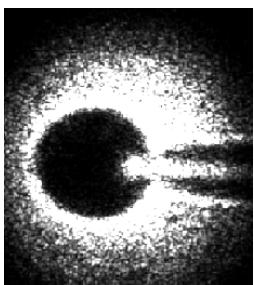
100N



160N

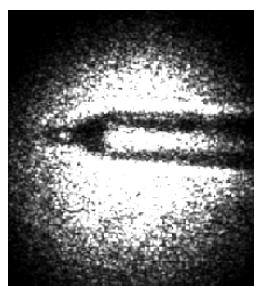


200N

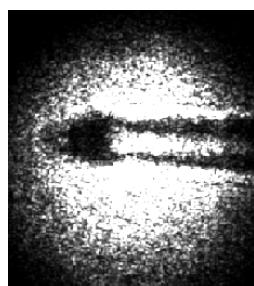


13mm

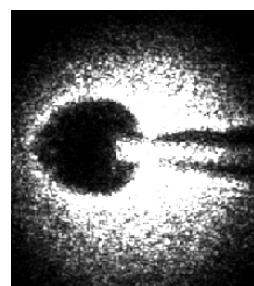
0N



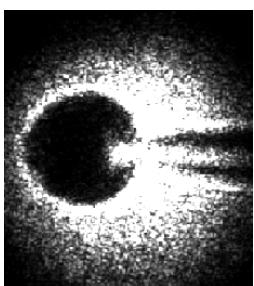
50N



150N

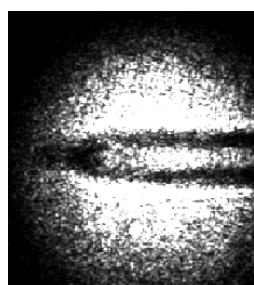


180N

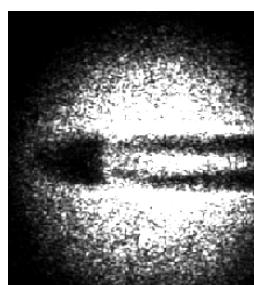


14mm

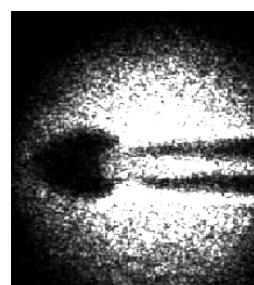
0N



40N



80N



150N

