

# 複合材料含/不含裂紋之拉伸強度探討

學生：陳崇文

指導教授：蔡佳霖

國立交通大學工學院精密與自動化工程碩士學程

## 中文摘要

本論文主要在利用拉伸破壞的方式來對層板的強度作預測與研究，期望可以在層板的疊層方式、堆疊順序、破壞模式等條件的差異時得到具有參考性的預測機制。

複合材料因堆疊角度或疊層順序的不同，在機械性質表現上會有非常不同的結果。常用的疊層方式有十字形疊法（Cross-Ply）及準等向性疊法（Quasi Isotropic-Ply）兩種，兩種疊層因破壞的機制不同，其破壞區在 X 光顯像圖上會有很大的差異。

複合材料對於裂紋的敏感性是很高的，主要的破壞區大多都是由裂紋的尖端發展出來，雖然複材層板的破壞主要是由纖維的強度來主宰，但是強度較弱的基材破壞或剝離具有釋放應力集中效應的功效，可以提高層板的破壞強度，故利用裂紋強度來做機械性質的研究是目前非常熱門的方式。

由於層板的破壞皆因 0 度板上的纖維斷裂所引起，所以 0 度板上的破壞韌度  $K_Q^0$  就成為預測層板強度最為重要的機械性質， $K_Q^0$  愈大即表示層板的強度愈大。針對同一材質若能建立準確的  $K_Q^0$  值，對於層板強度的預測可以得到很好的效果。

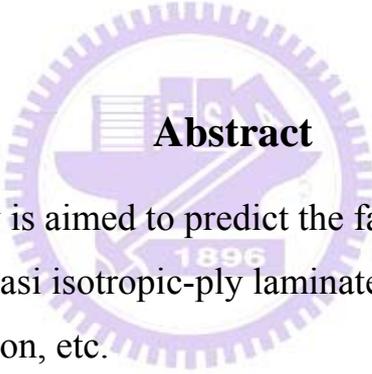
# Predicting Tensile Strength of Fiber Composite With/Without Crack

Student : Chung-Wen Chen

Advisor : Dr. Jia-Lin Tsai

Submitted to Degree Program of Automation  
and Precision Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University



## Abstract

The purpose of this study is aimed to predict the failure stress between Cross-ply laminates and Quasi isotropic-ply laminates by laminates structure, ply angel, and failure criterion, etc.

The damage zone X-ray patterns is a very important evidence to compared the difference between Cross-ply and Quasi isotropic-plys' failure stress.

Composite material laminates are notched sensitive, the damage growth and failure mechanisms ahead of crack tip. The damage appears in the form of matrix cracks in the 0,  $\theta$  and 90-deg layer along respective fiber directions, but final failure of laminates occured by fiber breakage of the 0-deg plies alone the plane of the original notch. When damage is growth, it's means the stress concentration will be released.

Determining the material parameter 0-deg ply fracture toughness  $K_Q^0$  is very important task, it can be used to predict the failure stress of the laminates with 0-deg plies.

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 序言.....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 文獻回顧.....	3
第二章 複合材料板的製程與測試.....	12
2-1 複合材料板的製作程序.....	12
2-2 基本數據測試用試片的製備.....	13
2-3 具缺口試片的製備.....	15
第三章 實驗數據及成果呈現.....	16
3-1 CFA-05624E19 基本機械性質.....	16
3-2 各種疊層無裂紋試片拉伸試驗數據的比較.....	16
3-3 利用 Hill-Tsai 破壞理論進行層板破壞應力之預測.....	17
3-4 利用 Tsai-Wu 破壞理論進行層板破壞應力之預測.....	19
3-5 各種疊層有裂紋試片拉伸試驗數據的成果.....	19
3-6 各種疊層有裂紋試片 X 光顯像圖試驗.....	20
第四章 實驗數據的討論與分析.....	22
4-1 層板破壞的基本研究.....	22

4-2 具裂紋準等向性層板的破壞應力比較分析.....	26
4-3 具裂紋十字形疊層板的破壞應力比較分析.....	28
4-4 0 度層板破壞韌度 $K_Q^0$ 的探討.....	31
第五章 總結與未來研究發展.....	34
5-1 總結.....	34
5-2 未來研究方向.....	35
參考文獻.....	37



# 表目錄

表 3.1	CFA-05624E19 各項機械性質一覽表.....	41
表 3.2	各種層板破壞應力比較表.....	42
表 3.3	準等向性層板破壞應力實測值與 Hill-Tsai 破壞理論預測值 之比較表.....	43
表 3.4	十字形疊層板破壞應力實測值與 Hill-Tsai 破壞理論預測值 之比較表.....	43
表 3.5	準等向性層板破壞應力實測值與 Tsai-Wu 破壞理論預測值 之比較表.....	44
表 3.6	十字形疊層板破壞應力實測值與 Tsai-Wu 破壞理論預測值 之比較表.....	44
表 3.7	各種層板具裂紋時的破壞應力比較表.....	45
表 4.1	各種層板試片相關實驗數據一覽表.....	46
表 4.2	各種層板具裂紋時的 0 度層板破壞韌度比較表.....	48

# 圖目錄

圖 1.1 圓孔及裂紋應力集中分佈圖.....	49
圖 2.1 熱壓機設備圖.....	50
圖 2.2 複合材料層板加熱流程圖.....	50
圖 2.3 MTS810 System 工作示意圖.....	51
圖 2.4 基本數據拉伸試驗試片規格圖.....	52
圖 2.5 具有缺口之拉伸試驗試片規格圖.....	52
圖 2.6 美國 OMAX-2652 水刀加工機.....	53
圖 2.7 水刀水柱切削複合材料板圖.....	53
圖 3.1 $[0]_8$ 拉伸試驗所得之應力應變圖.....	54
圖 3.2 $[0]_8$ 拉伸試驗所得之應力時間圖.....	54
圖 3.3 $[0]_8$ 拉伸試驗所得之應變時間圖.....	55
圖 3.4 $[90]_8$ 拉伸試驗所得之應力應變圖.....	55
圖 3.5 $[90]_8$ 拉伸試驗所得之應力時間圖.....	56
圖 3.6 $[45/-45]_S$ 拉伸試驗所得應力應變圖.....	56
圖 3.7 $[45/-45]_S$ 拉伸試驗所得應力時間圖.....	57
圖 3.8 $[45/-45]_S$ 拉伸試驗所得應變時間圖.....	57
圖 3.9 $[0/90]_{2S}$ 層板無裂紋試片應力時間圖.....	58
圖 3.10 $[0_2/90_2]_S$ 層板無裂紋試片應力時間圖.....	58

圖 3.11	$[90/0]_{2S}$ 層板無裂紋試片應力時間圖	59
圖 3.12	$[90_2/0_2]_S$ 層板無裂紋試片應力時間圖	59
圖 3.13	$[0/\pm 45/90]_{2S}$ 層板無裂紋試片應力時間圖	60
圖 3.14	$[0_2/\pm 45_2/90_2]_S$ 層板無裂紋試片應力時間圖	60
圖 3.15	$[90/\pm 45/0]_{2S}$ 層板無裂紋試片應力時間圖	61
圖 3.16	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 層板無裂紋試片應力時間圖	61
圖 3.17	各種層板實際破壞應力與 Hill-Tsai 預測值比較圖	62
圖 3.18	各種層板實際破壞應力與 Tsai-Wu 預測值比較圖	62
圖 3.19	$[0/90]_{2S}$ 層板有裂紋試片應力時間圖	63
圖 3.20	$[0_2/90_2]_S$ 層板有裂紋試片應力時間圖	63
圖 3.21	$[90/0]_{2S}$ 層板有裂紋試片應力時間圖	64
圖 3.22	$[90_2/0_2]_S$ 層板有裂紋試片應力時間圖	64
圖 3.23	$[0/\pm 45/90]_{2S}$ 層板有裂紋試片應力時間圖	65
圖 3.24	$[0_2/\pm 45_2/90_2]_S$ 層板有裂紋試片應力時間圖	65
圖 3.25	$[90/\pm 45/0]_{2S}$ 層板有裂紋試片應力時間圖	66
圖 3.26	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 層板有裂紋試片應力時間圖	66
圖 3.27	$[0/90]_{2S}$ 層板有裂紋試片破壞形式	67
圖 3.28	$[0_2/90_2]_S$ 層板有裂紋試片破壞形式	67
圖 3.29	$[90/0]_{2S}$ 層板有裂紋試片破壞形式	68

圖 3.30	$[90_2/0_2]_S$ 層板有裂紋試片破壞形式.....	68
圖 3.31	$[0/\pm 45/90]_{2S}$ 層板有裂紋試片破壞形式.....	69
圖 3.32	$[0_2/\pm 45_2/90_2]_S$ 層板有裂紋試片破壞形式.....	69
圖 3.33	$[90/\pm 45/0]_{2S}$ 層板有裂紋試片破壞形式.....	70
圖 3.34	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 層板無有裂紋試片破壞形.....	70
圖 3.35	$[0/90]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	71
圖 3.36	$[0_2/90_2]_S$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	71
圖 3.37	$[90/0]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	71
圖 3.38	$[90_2/0_2]_S$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	71
圖 3.39	$[0/\pm 45/90]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	72
圖 3.40	$[0_2/\pm 45_2/90_2]_S$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	72
圖 3.41	$[90/\pm 45/0]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	72
圖 3.42	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像圖.....	72
圖 3.43	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 破壞應力 98%的破壞區X光顯像圖.....	73
圖 3.44	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 破壞應力 98%的破壞區X光顯像放大圖.....	73
圖 3.45	$[0/\pm 45/90]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像放大圖.....	74
圖 3.46	$[0_2/\pm 45_2/90_2]_S$ 破壞應力 95%的破壞區X光顯像放大圖.....	74
圖 3.47	$[90/\pm 45/0]_{2S}$ 破壞應力 90%的破壞區X光顯像放大圖.....	75
圖 3.48	$[90_2/\pm 45_2/0_2]_S$ 破壞應力 95%的破壞區X光顯像放大圖.....	75

圖 4.1	無裂紋各種層板破壞應力比較圖.....	76
圖 4.2	具裂紋各種層板破壞應力比較圖.....	76
圖 4.3	各種層板 0 度層破壞韌度值 $K_Q^0$ 比較圖.....	77
圖 4.4	利用 $K_Q^0$ 預測十字形層板強度與實驗值的比較.....	77
圖 4.5	利用 $K_Q^0$ 預測準等向性層板強度與實驗值的比較.....	78

