

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

使用埋入射出成形製程對於
手機顯示器模組強度改善之研究

Study the Improvement of Mobile Display Module
by Using Insert Molding Process

研究生：黃靖師

指導教授：陳仁浩 教授

中華民國九十九年三月

使用埋入射出成形製程對於
手機顯示器模組強度改善之研究

Study the Improvement of Mobile Display Module
by Using Insert Molding Process

研究生：黃靖師

Student：Jin-Shr Huang

指導教授：陳仁浩

Advisor：Ren-Haw Chen

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程



Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Automation and Precision Engineering

March 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年三月

使用埋入射出成型製程對於 手機顯示器模組強度改善之研究

研究生：黃靖師

指導教授：陳仁浩 教授

國立交通大學
工學院精密與自動化工程學程

摘要

近年來，3C 產品技術成長的非常迅速，市場上手機的款式更是千百種，除了規格進階的訴求，機構強度也是強調的重點之一；所謂的機構強度分為手機系統端結構強度及 TFT LCD 模組強度，而 TFT LCD 模組強度比例在四點彎折測試後結果，依結構可區分為四大項，分別為玻璃面板(65%)、導光板(15%)、塑膠承載框(15%)以及金屬背板(5%)。

本文係研究將塑膠承載框與金屬背板結合，以增強模組強度，而先以有限元素法模擬確定埋入射出成型之模組強度確實會比傳統組裝式模組強度高，以確認研究之方向正確，再實際以實務製作，也就是金屬背板先以沖壓製作成型及再將金屬背板放進射出成型之模具中，以埋入射出成型技術將兩者結合，接而以 2D 量床量測重點尺寸，確認製作成品之外觀尺寸達到設計規格尺寸公差，後續再以四點彎折治具進行彎折測試，並與傳統組裝方式之模組進行強度之比較，以確認埋入射出成型製程確實會較傳統方式得到較高的模組強度。

後續再研究不同的金屬背板結構及設計方式或是選用楊氏係數較高之材料，並以有限元素法模擬分析結構強度，再將得到之數值建立資料庫，以便做為後續設計之準則及規範。

Study the Improvement of Mobile Display Module by Using Insert Molding Process

Student : Jin-Shr Huang

Advisor : Dr. Ren-Haw Chen

Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

Nation Chiao Tung University

Abstract

Thousand kinds of mobile phone published recently due to 3C product manufacturing technical growth rapidly. Besides of the higher specification request, stronger mechanical design also been asked as a key factor. Stronger mechanical design can be divided into two parts, system side & TFT LCD module side. For the TFT LCD module side, structure can be divided into four parts by bending result. ie: Panel (65%), LGP (15%), housing frame (15%), and base metal (5%).

Housing frame combine with base metal will be studied in this article for module strength enhancement. The base metal will be formed by punching first, then put the sample into the injection machine to form the housing frame. All the dimensions will be checked by 2D measurement machine first to make all the dimensions can meet design tolerance and 4 point bending will test to verify the module strength. Also, the conventional module will test for comparison to make sure the new method (Insert molding) will have better strength than the conventional one. FEM will also simulate the insert molding module strength to check the experiment direction.

Then, different metal feature and Young's modulus will also be studied. Combine with FEM to build up database for future design.

誌謝

回想四年前，為了要彌補當初急於投入職場未再攻讀研究所的遺憾及日後工作的需要而報考了碩士在職專班，轉眼之間，就讀專班的日子已經過了一千多個日子，雖然就讀時間未如預期的迅速，但在大學畢業七年後重拾書本讓我再次體會當學生的樂趣，也是人生中難得的一種體驗。

在此，首先我要感謝指導老師 陳仁浩教授這三年多來的指導，在教授的課程指導之下，讓我了解熟悉研究的步驟及過程，並在思考邏輯上有更進一步及不同的思維，也感謝教授在公事繁忙之中，不厭其煩的審核並修正論文內容，這也是這篇論文能完成的最重要關鍵，所以再次的感謝陳教授的費心，在此對老師獻上最誠摯的謝意。

另外，再感謝我的公司主管鄧友淵經理，讓我在工作之餘能全心全意的攻讀學業，也感謝我的同事俊祥及青桑，提供一些之前他們就讀研究所的經驗並代理我的事務，讓我的工作無後顧之憂。

最後，我要特別感謝我的老婆淇惠，當初鼓勵我報考研究所，並在這段時間一人身兼二職，下班後還要照顧兩個小朋友的飲食及教導女兒學校的功課，將家裡照料的非常得宜，辛苦你了；還有感謝我兩個寶貝小朋友，千育及崇璋，因為有你們兩個，讓我的生活更多姿多彩，因為你們的一顰一笑，讓我的人生目標更明確，往後的日子就讓我們一起加油吧！

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要	ii
致謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 序論	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究動機	3
1-3 文獻回顧	6
1-4 研究方法與目的	12
第二章 埋入射出成型之製程	13
2-1 埋入射出成型之簡介及其特徵	13
2-1-1 埋入射出成型之發展及應用.....	13
2-1-2 埋入射出成型與傳統組裝方式之優缺點比較.....	14
2-2 金屬件之物性及沖壓成型週期	15
2-2-1 金屬件物性	15
2-2-2 金屬件之沖壓成型週期	16
2-3 射出成型週期.....	16
2-4 塑膠材料之流變特性與黏彈性.....	18
2-4-1 “DOW”XQ83619 之流變特性	18
2-4-2 “DOW”XQ83619 之黏彈性	21
2-5 塑膠材料的熱性質及 P-V-T 特性.....	24
2-5-1 “DOW”XQ83619 之熱物特性	24

2-5-2 “DOW”XQ83619 之 P-V-T 模式參數	26
第三章 埋入射出成型強度特性實驗.....	29
3-1 實驗設計.....	29
3-1-1 成品之規格需求	31
3-1-2 研究方法	32
3-1-3 實驗步驟	36
3-2 實驗材料及設備.....	37
3-2-1 金屬件及射出件材料選擇	37
3-2-2 沖壓、射出成型機及週邊設備之規格	38
3-3 實驗量測方法及工具.....	41
3-3-1 外觀尺寸之量測	41
3-3-2 模組強度之量測	41
第四章 手機顯示器模組強度改善實驗.....	44
4-1 成品外觀參數值之變化.....	44
4-1-1 重點尺寸及外觀品質之比較	44
4-1-2 模組強度測試之比較	48
4-2 各項因子對產品的影響.....	51
4-2-1 板金件折邊角度的影響	51
4-2-2 板金件深度的影響	54
4-2-3 結合特徵尺寸及數目的影響	55
4-2-4 頂出銷尺寸、數量及位置的影響	56
第五章 結論.....	59
5-1 結論.....	59
5-2 未來的發展.....	60
參考文獻	62

表目錄

表 2-1 傳統製程與埋入射出成型製程之優缺點比較表.....	15
表 2-2 不鏽鋼(SUS 304 1/2H)物性表	15
表 2-3 不鏽鋼(SUS 304 1/2H)化學成分表	15
表 2-4 Cross model 之流變參數.....	21
表 2-5 Cross WLF model 之流變參數	21
表 2-6 PC (DOW “XQ83619”)熱傳導係數表.....	25
表 2-7 PC (DOW “XQ83619”)之 P-V-T 模式參數表.....	28
表 3-1 顯示器模組結構名稱及材料對應表.....	29
表 3-2 背光源結構名稱及材料對應表.....	30
表 3-3 成品重點尺寸及對應公差表.....	32
表 3-4 DOW-XQ83619 之物性表	37
表 4-1 成品重點尺寸量測數據表	44
表 4-2 模組外觀品質	48
表 4-3 液晶面板之彎折強度.....	49
表 4-4 傳統式模組彎折強度(不含鐵殼)	49
表 4-5 傳統式模組彎折強度(含鐵殼).....	50
表 4-6 模組彎折強度(埋入射出成型).....	50
表 4-7 折彎角度大於 92 度與良品彎折測試之比較表	52
表 5-1 各類架構之模組彎折強度比較表	60

圖目錄

圖 1-1 市面上流行之手機款式.....	2
圖 1-2 1.9”模組強度分佈比.....	3
圖 1-3 模組全剖視圖	4
圖 1-4 邊界條件示意圖.....	5
圖 1-5 三種結構之應力與負荷力差異圖.....	5
圖 1-6 傳統組裝方式於模擬時機構件失效圖.....	6
圖 2-1 埋入射出成型之應用.....	13
圖 2-2 傳統方式與埋入射出成型外觀之差異.....	14
圖 2-3 塑化過程示意圖.....	16
圖 2-4 充填過程示意圖.....	17
圖 2-5 保壓過程示意圖.....	17
圖 2-6 冷卻過程示意圖.....	18
圖 2-7 頂出過程示意圖.....	18
圖 2-8 Cross model 恆溫剪切黏度對剪切率圖形.....	20
圖 2-9 Cross WLF model 恆溫剪切黏度對剪切率圖形.....	20
圖 2-10 黏彈性體之特殊性質-1.....	22
圖 2-11 黏彈性體之特殊性質-2.....	22
圖 2-12 黏彈性體之特殊性質-3.....	22
圖 2-13 黏彈性體之特殊性質-4.....	23
圖 2-14 黏彈性體之特殊性質-5.....	23
圖 2-15 P-V-T 關係圖	27
圖 3-1 顯示器模組爆炸圖.....	29

圖 3-2 背光源模組爆炸圖.....	30
圖 3-3 成品重點尺寸圖.....	31
圖 3-4 摺邊角度示意圖.....	33
圖 3-5 深度尺寸示意圖.....	33
圖 3-6 結合特徵尺寸及結合區域示意圖.....	34
圖 3-7 結合特徵數量示意圖.....	35
圖 3-8 頂出銷位置分佈圖.....	35
圖 3-9 預計進行之實驗流程圖.....	36
圖 3-10 沖床.....	38
圖 3-11 射出成型機.....	38
圖 3-12 超音波清洗機.....	39
圖 3-13 箱型乾燥機.....	40
圖 3-14 模溫機.....	40
圖 3-15 機械手臂.....	41
圖 3-16 熱澆道控制器.....	41
圖 3-17 外觀尺寸量測手法.....	42
圖 3-18 彎折測試示意圖.....	43
圖 3-19 四點彎折測試治具圖.....	43
圖 4-1 板金件外觀尺寸及公差.....	51
圖 4-2 板金件折邊角度與尺寸關係示意圖.....	52
圖 4-3 金屬件與膠框於彎折測試時剝離情形.....	53
圖 4-4 折邊高度不足造成之溢膠情形.....	54
圖 4-5 原始設計及修改後之結合特徵示意圖.....	55

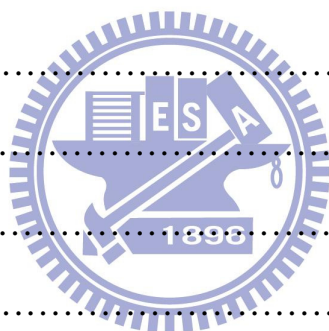


圖 4-6 原始及修改後頂出銷尺寸、數量及位置示意圖.....	56
圖 4-7 改善前與改善後的成品背面圖	57
圖 5-1 兩種鐵框雙折邊設計示意.....	61
圖 5-2 三點彎折測試模擬及強度比較圖.....	61



第一章 序論

1-1 研究背景

在日新月異、知識、科技突飛猛進的現代社會裡，每天都有許多新穎的3C電子行動通訊產品研發成功並且被廣泛應用在日常生活中，慢慢的很多高科技產品變成生活上的必需品，例如行動電話、衛星導航定位裝置、PDA、筆記型電腦及MP3隨身聽等產品，這些產品皆有同樣的特色，也就是這些產品中都存在著液晶顯示器(TFT LCD Module)。

而液晶顯示器的技術在這幾年中，也因應市場的需求，不斷的求新求變，尤其在手機用途上，除了面板顯示畫面之畫數、色飽和度、穿透率、反射率、解析度及內建功能(藍牙、紅外線傳輸，鈴聲、WiFi 無線網路)不斷擴充更新外，另外，譬如HTC的Touch Diamond、Touch Cruise (圖1-1(a、b))主推電容式觸控式螢幕更加速了Key in及閱讀、編輯文章之速度，另外在外觀方面，更有如美國品牌Apple產品之i-phone手機(圖1-1(c、d)) 甚至強調手機薄型化、及超強強度等等之設計，而在這些需求之下，LCD 模組更須顛覆之前之設計理念，研發新的設計及製作技術以符合客戶端更嚴苛且符合潮流之需求。



(a)、HTC Touch Diamond



(b)、HTC Touch Cruise



(c)、Apple iPhone 3G



(d)、Nokia N96

圖 1-1、市面上流行之手機款式

所以針對日後手機的薄型化及強度需求，我們將朝TFT LCD Module之強度方面去研究。雖然模組強度之主要因素為面板之切片及裂片品質，但是因為玻璃之厚度因薄型化之需求後，強度已不再像以往那麼好，所以除了維持原本的玻璃切片及裂片品質外，我們仍須再研究如何利用機構元件以增強顯示器模組之強度。

目前的研究方向朝"埋入式射出成型 (Insert molding)"研究，將原本背光源模組(Back-Light Unit ; BLU)之高反射性塑膠框元件與後金屬背板(Back Metal Bezel)以塑膠射出方式將兩者結合，而不再是傳統方式，兩個元件個別製作後，再進行組裝，而預期此方式能因減少元件彼此預留之組裝間隙，而達到一體化進而強化元件之強度。

而將原本兩元件組裝方式改為於製作時結合之方式，預計會有以下之優點及功能，而這些優點及功能也是此研究的主要目的：

- (1)、強化液晶顯示器模組強度。
- (2)、減少日後之組裝時間及人事成本。
- (3)、避免組裝過程而衍生之異物(Particle)。

1-2 研究動機

在之前的液晶顯示器模組強度實驗中(1.9吋，其結構如圖1-3a所示)，我們可以得到影響模組強度的因子分別為玻璃面板(Glass)、金屬背板(Metal Bezel)、塑膠框(Plastic Frame)、導光板(Light Guide Plate)、光學膜片(Optical Films)，如圖1-2所示，而圖中，我們可以得知影響模組強度最大的因素即為玻璃切裂品質，也就是面板強度，但基於玻璃切裂條件之限制及製程之縮減(Cost down)，所以我們將玻璃切裂強度視為常數(Constant)，再針對其他影響因子去研究，也就是金屬件及膠框，希望能因此再提升模組強度。

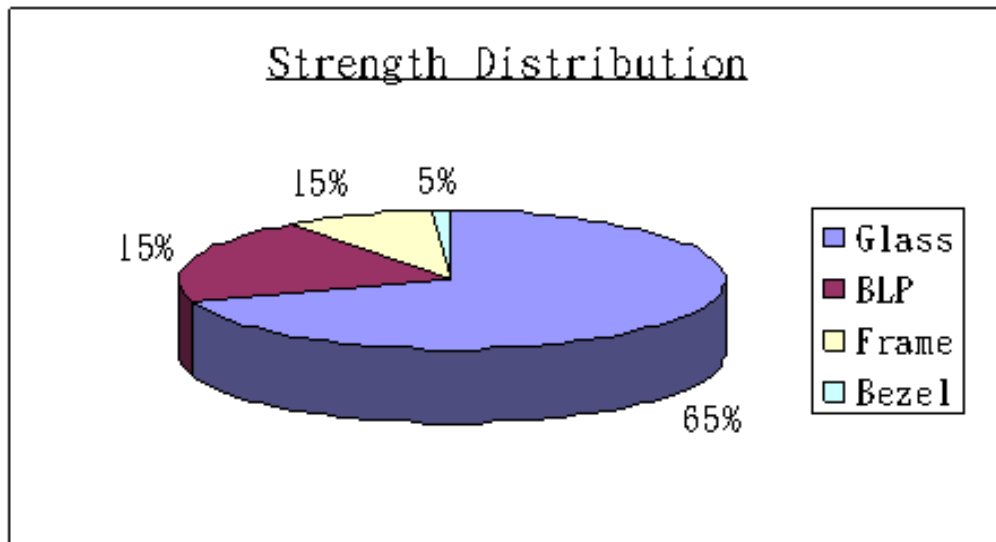


圖 1-2、1.9 吋模組強度分佈比率

以材料力學[1]正交應力與彎取力矩的關係來看，應力(σ)與彎曲力矩(M)成正比，並與剖面慣性矩(I)成反比，又應力與距中性軸之距離(y)呈線性變化，所以我們可以從公式及下圖(圖1-3)得知，以傳統方式設計方式，其慣性矩所估計之剖面為綠色區塊(塑膠框)，但是使用埋入射出成形設計方式則為綠色加紅色區塊(塑膠框+鐵框)，明顯的可以增加剖面慣性矩以及降低應力。

正交應力與彎曲力矩公式：

$$\sigma = \frac{My}{I} ; \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

本研究應用範圍於手機顯示器模組之埋入射出成型製程，以研究將高反射性PC與不銹鋼(SUS)背板以射出成型方式結合，主要著重於探討結合後對於顯示器模組強度之增益(如圖1-3b所示之結構)，針對製作時之產品實際狀況，譬如尺寸以及其他外觀特徵等等去調整成型因子，後續以四點彎折測試(4-points bending test)去實驗，再將得知的彎折強度(bending strength)去判定模組強度之增益。

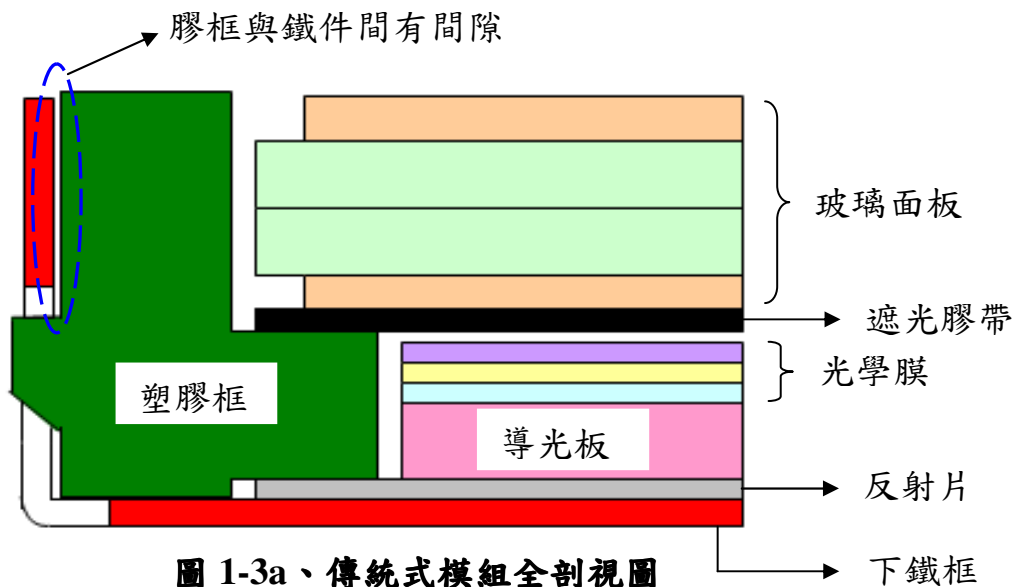


圖 1-3a、傳統式模組全剖視圖

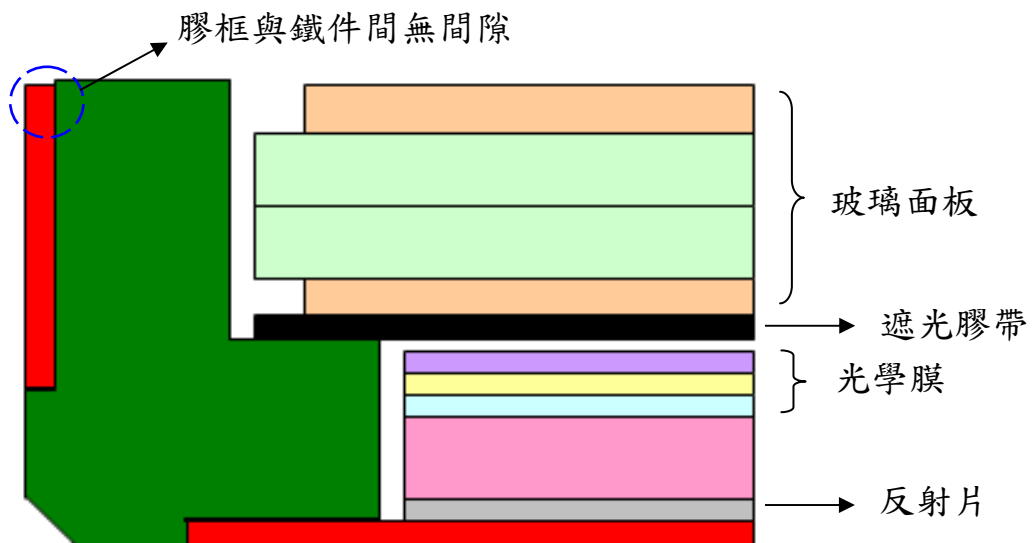


圖 1-3b、埋入射出成型模組全剖視圖

為了再證明埋入式射出成形對於模組強度有實質之增益，再以有限元素法來模擬[2]；圖1-4(a)為模組未含鐵殼之結構，圖1-4(b)為含鐵殼及埋入式射出成型之結構。

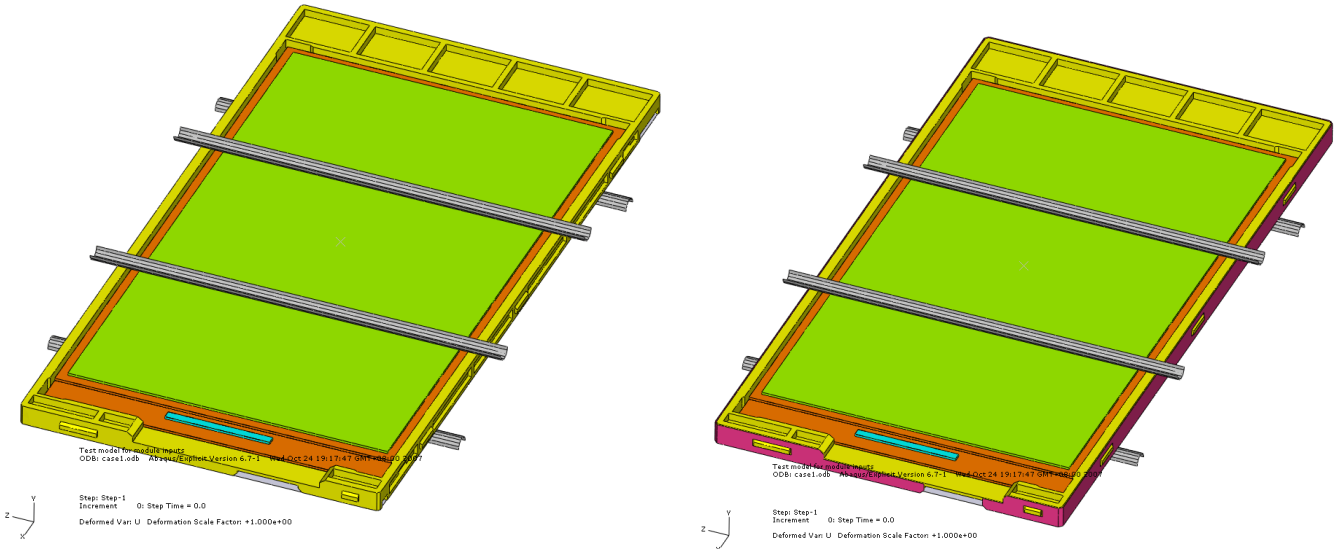


圖 1-4(a)、模組未含鐵殼

圖 1-4(b)、模組含鐵殼及埋入式射出成形

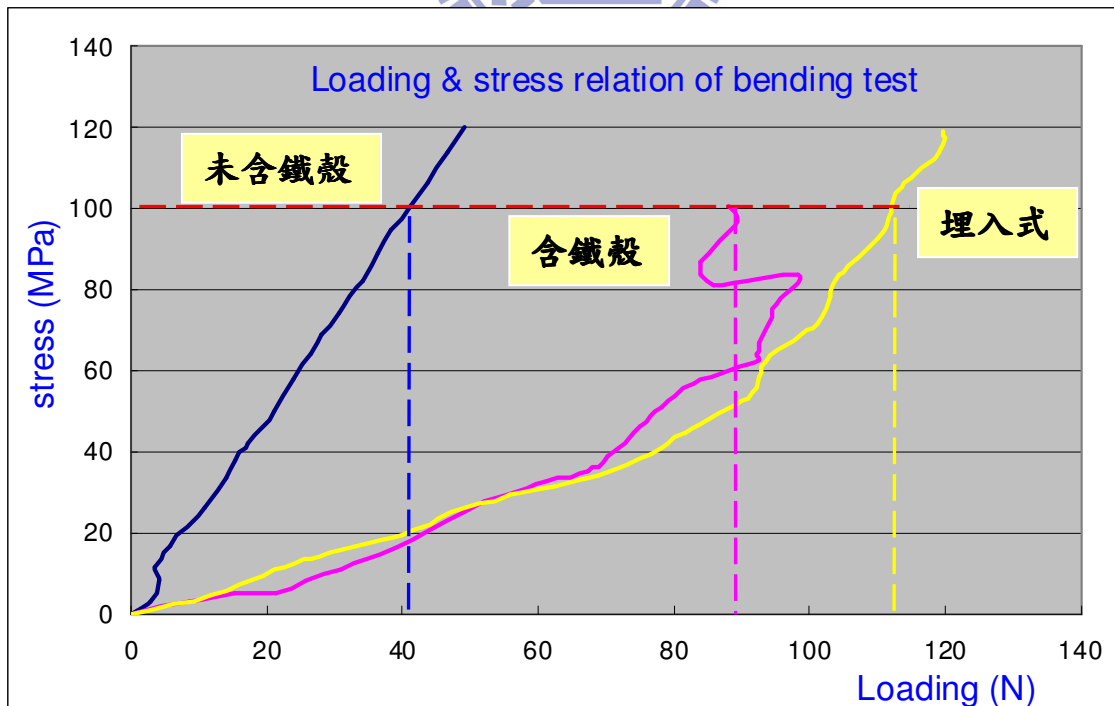


圖 1-5、三種結構之應力與負荷力差異圖

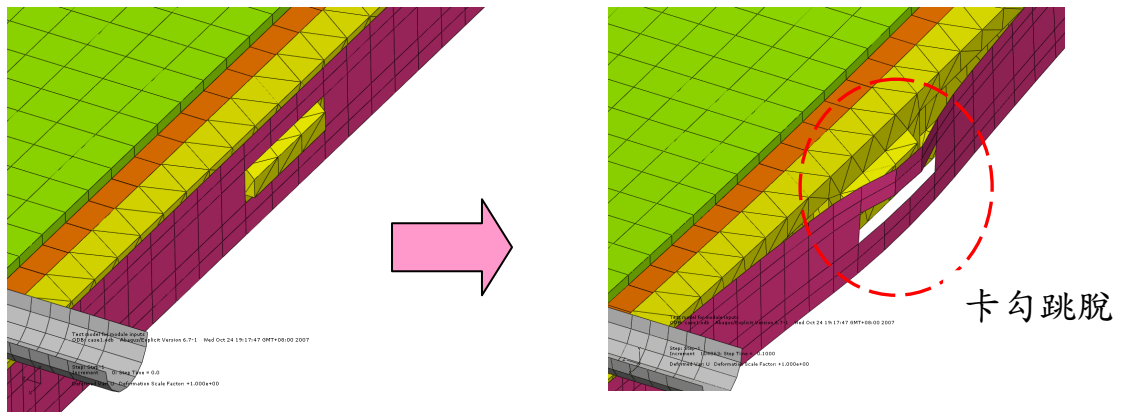


圖 1-6、傳統組裝方式於模擬時機構件失效圖

由圖1-5中可知，在三種結構中，使用埋入式射出成形方式其在相同之應力下可得到較高的負荷力，換言之也就是說埋入式射出成形方式之模組強度比傳統式設計方式高；圖1-6為傳統式結構模組於模擬時發生板金件折邊之卡勾上緣因受力而產生變形，造成卡勾跳脫的失效模式。



1-3 文獻回顧

2004 年張志坤[3]，利用有限元素模擬 TFT-LCD 模組在衝擊試驗中之內部碰撞情形。在模組日漸薄化之趨勢下，為了要讓模組能通過系統端嚴苛的落下測試，因此以有限元素來分析並設計膠框之強度，以求其在試驗中能有效的分散衝擊能量。

2004 年藍俊傑[4]，於設計平面顯示器之機構前利用電腦模擬方式，找出背光板的最佳化設計結構，將更能使得背光板特性符合所訂定之要求；以數值計算方法來輔助背光板之設計及製造，可節省不必要的嘗試錯誤之次數及時效，並可得到最佳之效果。

2005 年南寧漢、黃智傑[5]，針對摺疊式手機在落下實驗中，當將顯示面朝下落摔時出現之 IC 破裂之情形，以有限元素做手機落下時之動態模擬及分析，以改善 IC 破裂之問題。

2005 年林茂興[6]，利用有限元素模擬 TFT-LCD 模組在落下實驗及衝擊實驗中，導光板所受之最大應力，藉由改善導光板外型以改善其破裂之情形。

2006 年黃永立[7]，針對 TFT-LCD 模組於衝擊試驗時經常發生的前框卡勾跳脫問題進行分析與探討，研究中以有限元素法進行數值模擬，並與實驗數據進行比對，獲得有效之分析模型，依此建立完整的衝擊試驗數值模擬及分析模式，可有效預測產品於衝擊試驗中之衝擊行為，幫助設計者於開發初期預估產品強度、發掘並改善問題，以縮短設計開發時程及降低成本，進而提高產業競爭力。

2006 年陳建翔、李金二、蘇健忠、張簡志偉[8]，利用有限元素法來分析 TFT LCD 模組結構強度，研究中針對輕薄短小的液晶顯示器模組之設計，模擬出為了落下實驗之需求所需之設計值及方法，避免後續之設計變更次數與節省開發時間及成本。

2007 年黃崇忠[9]，利用落下實驗及電腦模擬來探討背光模組外殼之最佳化材質；以非線性有限元素法模擬分析用於手機之背光模組於手機落下時的撞擊結果，分析不同材質對於落下之相對保護模組之結果，而得以讓後續之材質選用有一個更具說服力的證明。

2004 年沈興義、黃昱智[24]，利用有限元素法來分析PDA於落摔實驗之衝擊結果，幫助設計者於開發初期預估產品強度、改善問題，避免後續之設計變更改次數與節省開發時間及成本。

2007 年王玉仙[25]，研究中採用衝擊試驗驗證與有限元素模擬分析兩種方式來探討TFT-LCD模組受衝擊時之動態行為，藉由數值模擬與實驗兩者相互印証，以對結構設計提出適切改善。為了TFT-LCD模組設計能達到在模具開發製作前就加以評估的目的，研究中使用有限元素軟體MSC-Dytran對TFT-LCD模組進行衝擊模擬，預測TFT-LCD模組衝擊時整體的力學行為，並與實驗結果比較，進行分析模型修正；隨後對TFT-LCD模組進行設計改善，建立TFT-LCD模組設計的分析評估方式。

2003 年陳君明[26]，研究對TFT-LCD模組進行衝擊分析及試驗驗證，由於衝擊時間十分短暫，要去了解其受衝擊時反應十分不易，研究中採用衝擊試驗驗證與有限元素模擬分析兩種方式，探討TFT-LCD模組受衝擊時之動態行為，藉由數值模擬與實驗兩者相互印証，以對結構設計提出適切改善。

2002 年陳伯群[27]，探討產品在環境測試項目中，包覆有緩衝包裝材料之掉落測試。研究之宗旨為使產品於設計初期，即能評估整體結構於掉落試驗下之衝擊響應，研究中將以有限元素法進行數值模擬，並與實驗數據進行比對，以獲得有效之分析模型，並建立完整的掉落試驗數值模擬及分析模式。

2007 年張貴琳[28]，本研究針對薄型化液晶顯示器模組結構及一般液晶顯示器模組結構作出分析比較，再針對薄型化液晶顯示器模組結構之強度，導入稱為”植入射出”之新的強化製程，”植入射出”強化製程乃是取鐵框(Bezel)的強度及塑膠(Housing)的成型性，將兩者合而為一發展出輕薄短小且強度堅韌的複合載體，以此為基礎進而提昇液晶顯示器模組的整體強度。

2005 年江毅成[29]，本研究計畫利用平行運算技術來「有效縮短有限元素分析(FEA)分析時程」。同時本計畫也將進行實際的測試，實驗結果將和有限元素分析模擬結果進行比對。本研究的主要目的是探討TFT-LCD 模組於衝擊和Notebook及產品含緩衝包材於落下之結構分析，經由模組衝擊及落下模擬分析與驗證，實際解決產品結構開發問題。

2006 年曾義晃[30]，以導光板的3D模流分析模擬並應用田口法來探討影響導光板最佳模具設計的重要因子，並以此最佳模具模擬分析先找出製程參數對導光板最佳之單一品質特性。而後再分別應用主要成分分析法、主成分關聯法及二次損失規劃法等三種多品質最佳化方法得到使導光板多重品質特性之最佳製程參數。

2002 年林鈺婉[31]，針對高分子於微流道的流動特性進行探討，在實驗上，設計並建立流道內徑為 $d=0.2\sim 0.5\text{mm}$ 的高溫為流道流變梁測模具，完成實驗並將量測數據經過Rabinowitsch模式修正計算出相對應的實際剪應力、實際剪應力與實際黏度的關係值，並與使用傳統毛細管流變儀所得值比對，並得之高分子於微流道中的黏度較傳統的黏度值低40%~60%，且隨管徑縮小而降低。

2002 年范振墉[32]，以液晶高分子 Zenite 6130工程塑膠為對象，針對其在薄殼成型時，不同厚度及不同製程條件下所產生的縫合線成品，進行符合 ASTM638標準的拉伸試驗與機械性質方面的比較研究。

1999 年張金錄[33]，主要是針對發展高深寬比射出成型技術，以X光深刻技術(LIGA)製作的72孔異形纖維紡口模仁，和化學蝕刻成形的噴墨印表機噴嘴薄片模仁為載具。分別觀察射出過程中高分子模流在微小模穴中對於微觀熱傳，高分子流動現象，和微小殘留應力即收縮翹曲變形情形，並比較微射出成型與傳統巨觀射出成型之異同

2004 年黃勝田[34]，藉由短射方式觀察PS融膠充填對稱一模四穴與一模八穴的波前，並改變模具溫度、射出速度及融膠溫度觀察成型條件對充填的影響。本研究接著定義不同塑料(PS、PMMA、PC)、厚度(250 μm 、100 μm 、60 μm)的成型操作窗，並比較表面有微結構與無微結構時的差異性。依據可成型範圍，本研究進一步探討製程參數對微結構轉寫性的影響，也量測射出件應力光彈分佈，最後使用變模溫系統的快速加熱冷卻模具，探討如何所短製程時間。

2005 年葉清民[35]，係採用修正牛頓-拉普拉森法的理論方式(modified Newton-Raphson)，應用在射出成型條件中，尋找最佳的射出成型條件使產品所產生的翹曲量為最小。在設計成型條件的過程中，考慮的範圍包含了流體力學、熱傳導問題和熱應力方面，設計的參數有保壓時間、保壓壓力、熔澆溫度、模具溫度和冷卻溫度等五項因子。本研究所提出的數值分析結果也將與利用田口式的實驗方法結果做比較，發現本研究的方法不但比利用田口式的方法快速且也可得到較小的翹曲量。

2004 年陳世豪[36]，探討嵌入式射出成型製品如何增強結構強度與物性強度或如何減少殘留應力以減少在長時間之環境因素與外加應力下便造成破壞產生破裂，另一方面探討嵌入式射出常造成的縫合線減弱結構強度的重大因素，調整殘留應力與縫合線射在射出條件以避免縫合線減弱結構強度，所以實驗上以破壞試驗與非破壞試驗配合模流分析並以田口實驗法試圖求得最佳化之條件。

1995 年鍾文仁[37]，整合人工智慧與射出成型之各項基礎理論、知識、製程控制與田口方法架構射出成型專家系統，期望能整合各項射出成型之理論與設計念、成型缺陷策略、實驗結果、電腦輔助工程分析、人工智慧、程式設計與田口品質方法，希望能有效解決射出成型各項相關問題，提昇射出成型之技術與發展。

1993 年曹丙丁[38]，探討塑膠射出成型品之收縮與翹曲變形及其凹痕行為，包括結晶性高分子材料與無定形材料之產品；並建立一套整合性分析軟體，結合了電腦輔助工程分析技術與高分子加工理論，模擬整個射出成型充填，保壓及冷卻過程中塑料的動態行為，以及成品脫模後塑件的收縮與翹曲變形及凹痕情形，以幫助日後進行模具設計及加工條件抉擇的參考。

1994 年林育星[39]，簡化塑膠射出成型之幾何模式並以一維有限差分法模擬計算耦合流力、熱傳及應力統制方程式，分析各製程條件（射壓、熔膠溫度、射速及模溫）對成型品流動長度及殘留應力之影響。並與以田口式法設計之實驗結果相比較，以驗證模擬之準確性。

2007 年李信億[40]，利用射出成型將螺絲與塑膠蓋板一體成型，並找出最佳方法使金屬與塑膠之連結力達到最佳化之目的。

2011 年姜林靜惠[41]，本研究利用Mold flow模流分析軟體，針對金屬嵌入式 (Insert Mold) 塑膠射出成型的製程參數進行模擬，並以實際案例探討模擬與實際製程參數之差異性及模擬可靠度，經模流分析結果除了熔膠溫度與實際射出的熔膠溫度差異較大之外，其餘條件也與實際射出成型條件相近，而利用ANSYS在嵌入件的變形分析結果也確認了模具中的頂針位置及數量足以固定嵌入件而不產生變形。因而期望藉本文之分析結果以提供業界在進行相關模擬時的參考依據。

1-4 研究方法與目的

本研究之實驗方法係採用實際射出成型製程，後續再進行模組彎折強度測試的研究方法；將不繡鋼背板以機械手臂將其放置於模具中，再進行塑膠射出成型，使兩種材料合而為一。主要目的為研究此種設計方式與傳統組裝方式之彎折強度(Bending Strength)之差異(增益)，在實驗中，針對所強調之影響因子做解析，並藉以探討元件設計方式及差異(Design difference)、成型參數(Parameters)、製程週期時間(cycle time)、製程良率(Yield)及成本(Cost)等問題，以作為後續此類產品之設計依據。

第二章 埋入射出成型之製程

2-1 埋入射出成型之簡介及其特徵

2-1-1 埋入射出成型之發展及應用

埋入式射出成型(Insert molding)，就是在進行塑膠射出成型過程前，將金屬件或其他材質之埋入物件先置放在射出成型之模穴中，再進行塑膠射出成型，將埋入之材料完全包覆，使兩者合而為一，此種成型方式即稱為埋入射出成型(或鑲埋射出成型)；埋入式射出成型最初之發展是用來取代螺帽與塑膠後加工之結合以及電器用品之連接器(圖 2-1(b、d))上的金屬電線製作，後續也廣泛應用於醫療器具上，例如注射針、集線器(圖 2-1(a))以及電子產品(圖 2-1(c))，如電池等等，也因為這種成型方式幾乎沒有設計及材料選用上的限制，所以應用範圍更加的廣泛。



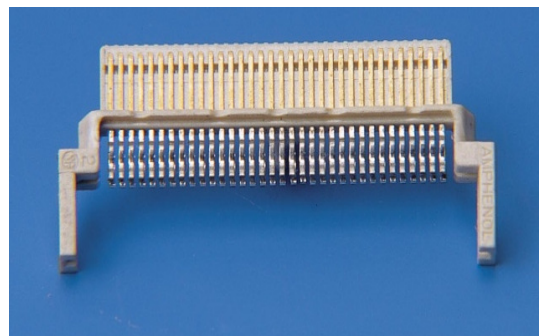
(a)、集線器



(b)、SIM Card 連接器



(c)、手機用電池



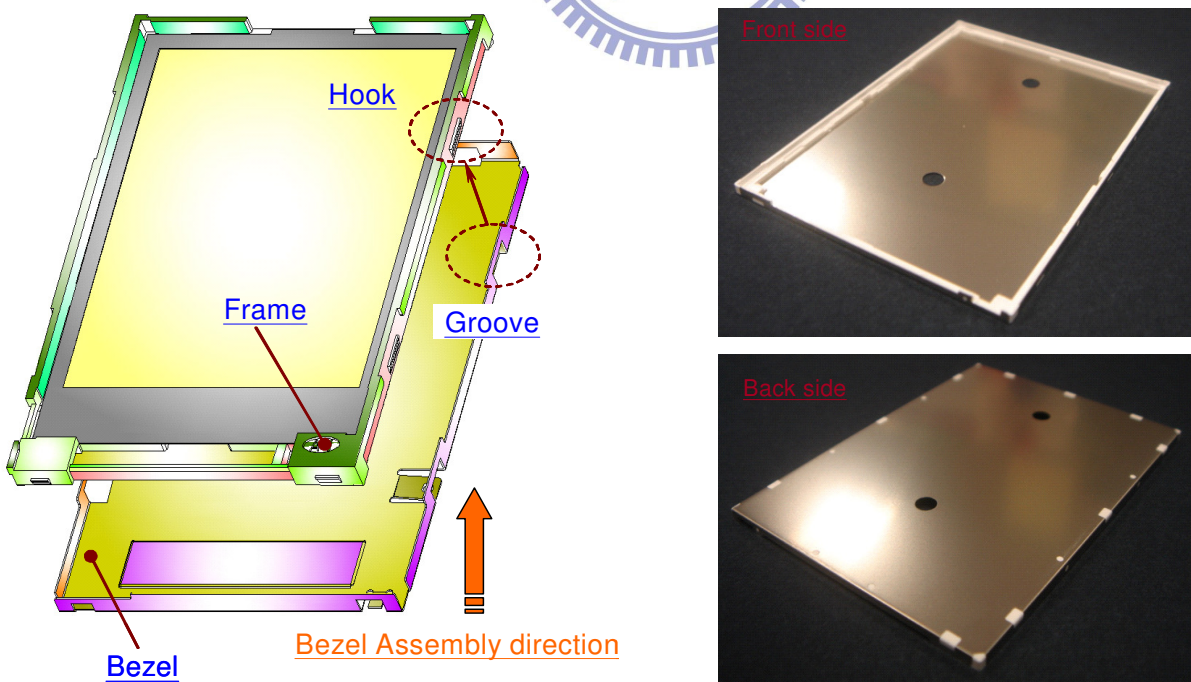
(d)、連接器

圖 2-1、埋入射出成型之應用品

埋入射出製程之埋入材料可為塑膠零件或金屬零件，最常用的埋入部品材料為黃銅螺絲零件，鋼條或預先成型的塑膠件；由於模具閉合機構，在模具之設計上，儘量使埋入之物件(insert)與開合行程垂直，且成型過程中要把埋入物件清洗乾淨，尤其是金屬件，一定不可讓加工時的切削油流才在金屬件之表面，否則在進行射出成型時，會讓成品上產生水痕等異常。另外，將埋入物件裝上模具時要確定固定完好，因為金屬件之鬆動或掉落將造成模具莫大的損害。

2-1-2 埋入射出成型與傳統組裝方式之優缺點比較

傳統之設計方式[10]是將塑膠外框及不鏽鋼金屬背板分開設計製作，後續再以卡勾方式組裝結合(圖 2-2(a))，公差上因兩者有預留組裝公差及間隙，所以公差之要求較鬆，而埋入射出成型(圖 2-2(b))則是將兩者以結合方式去設計，而鐵框公差之要求因為需將其放置於模具中，所以公差值要求較嚴苛。



(a)、傳統方式

(b)、埋入射出成型

圖 2-2、傳統方式與埋入射出成型外觀之差異

表 2-1、傳統製程與埋入射出成型製程之優缺點比較表

	傳統式設計方式	埋入射出成型方式
材料	金屬板+塑膠框	
公差	較寬鬆	較嚴苛
設計難易度	需考慮物件及組裝間隙	需考慮結合特徵數目
設計時間	較長	較短
模具製作	精密度低(成本低)	精密度高(成本高)
組裝步驟	後續人工組裝	不需後加工
組裝問題	有異物及刮傷問題	無異物及刮傷問題

2-2 金屬件之物性及沖壓成型週期

2-2-1 金屬件物性[11]

表 2-2、不鏽鋼(SUS 304 1/2H)物性表

特性	數值
抗拉強度	≥ 515 (Mpa)
屈服強度(Mpa)	≥ 215 (Mpa)
延伸率	≥ 40 (%)
布氏硬度(HB)	≤ 255
比重 (100°C)	7.93
熱傳導率 (0~100°C)	16.3 (%)
線膨脹係數	17.3 (W/m·°C)(X10-6/°C)
其他特性及優點	耐蝕性和耐熱性優良；低溫強度和機械性能優良；單相奧氏體組織，無熱處理硬化現象（無磁性，使用溫度-196~-800°C）

表 2-3、不鏽鋼(SUS 304 1/2H)化學成分表

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
%	<0.08	<1.0	<2.0	<0.045	<0.03	8~10.5	18/20

2-2-2 金屬件之沖壓成型週期

埋入射出成型所使用之金屬背板結構與現行傳統式設計製作之金屬背板大體上都相同，其成型週期大致可分為下列幾項：

- (1)、切邊沖孔。
- (2)、壓毛邊。
- (3)、折彎。
- (4)、沖窗孔。
- (5)、整型壓毛邊。

2-3 射出成型週期[12]

埋入射出成型之射出成型週期較一般塑膠射出成型增加了第二項步驟，所以其成型週期共分為下列七項：

- (1)、塑料塑化過程 (Preheating)，如下圖(圖 2-3)所示：
 - A. 導螺桿促使顆粒狀塑料進入。
 - B. 藉由塑料和螺桿之摩擦作用及加熱環加熱，促使塑料熔化。
 - C. 塑料充滿儲存區，完成充填之準備。

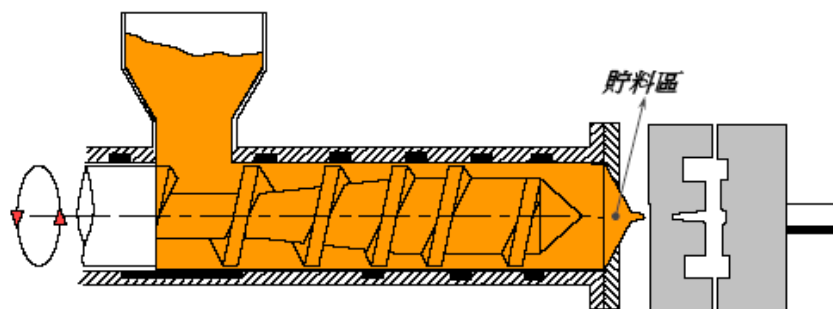


圖 2-3、塑化過程示意圖

- (2)、機器手臂(或人工)置放金屬背板 (Handling)：
 - A. 以機器手臂挾持或以人工拿取 loader 上之金屬背板。
 - B. 將金屬背板置放於模穴內。

(3)、合模階段：模具閉合。

(4)、充填階段 (Filling)，如下圖(圖 2-4)所示：

A. 螺桿前進，迫使塑料進入模穴。

B. 塑料進入模穴之充填過程中，射出壓力隨著成型過程而增加。

C. 此一過程稱為流率控度階段。

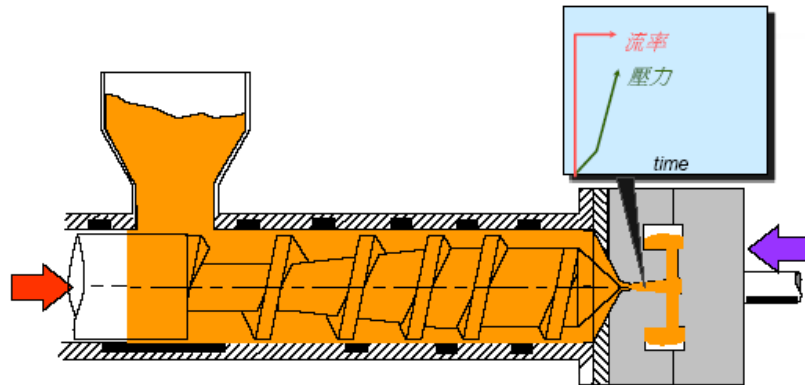


圖 2-4、充填過程示意圖

(5)、保壓階段 (Holding)，如下圖(圖 2-5)所示：

A. 更多塑料進入模穴，以防止產品收縮變形。

B. 此一階段稱為壓力控制階段。

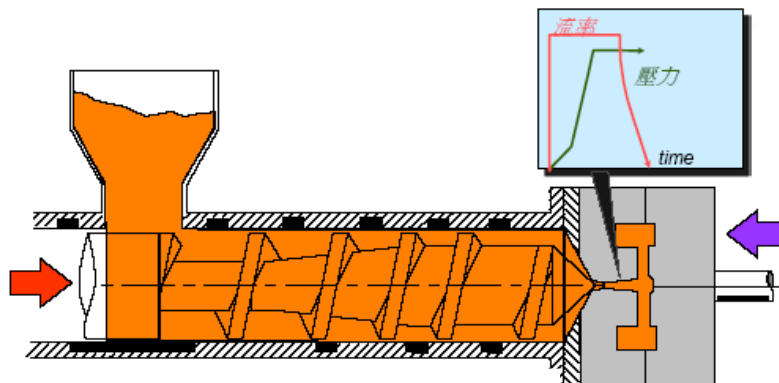


圖 2-5、保壓過程示意圖

(6)、冷卻階段 (Cooling)，如下圖(圖 2-6)所示：

A. 在此階段，塑料不在充填，產品開始冷卻固化。

B. 螺桿鬆退以便進行下一週期成形準備。

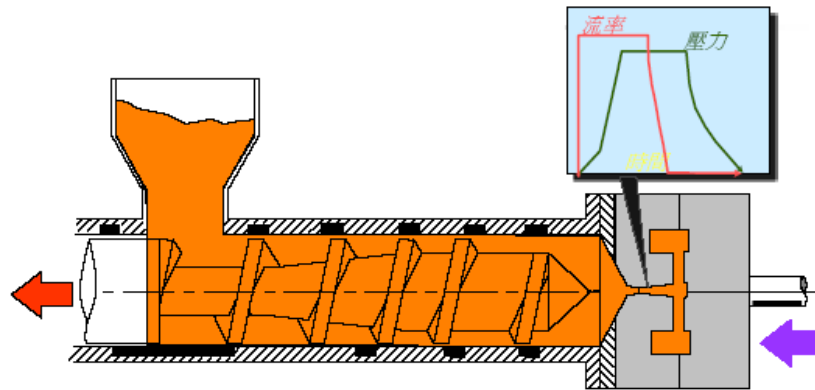


圖 2-6、冷卻過程示意圖

(7)、開模及頂出階段 (Ejecting) ，如下圖(圖 2-7)所示：

- A.當產品固化到足以到頂出強度時，模具打開且射出成型機台之頂出單元便進行頂出動作。
- B.頂出後即便進行閉模動作，為下一週期作準備。

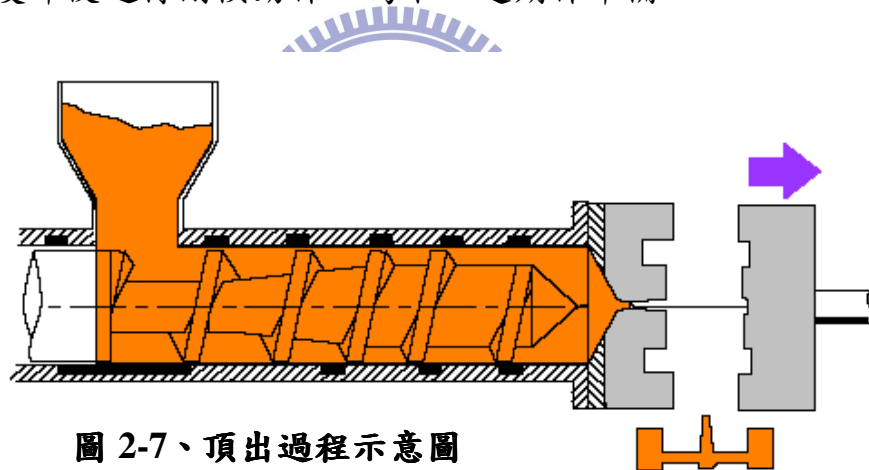


圖 2-7、頂出過程示意圖

2-4 塑膠材料之流變特性與黏彈性

2-4-1 “DOW”XQ83619 之流變特性[13]

塑料之流變率也可定義為年度之量測及定量，目前業界以螺旋狀模具流動(Spiral mold flow)及融膠指數(Melt index, **MI**)來定義塑膠流動難易性；黏度(Viscosity)是流體流動阻力之度量，黏度越高則流動阻力越大，流動則越困難。對一般熱塑性塑料而言，黏度是塑料成分、溫度、壓力及剪切率之函數。

就溫度效應來說，熱塑性塑料之黏度一般隨溫度升高而降低。就剪切率(Shear rate)之效應而言，剪切率越高代表加工變形速率越大，由於高分子鏈被排向的結果，使大部分之塑料具有之黏度隨剪切率升高而下降的切變稀性(Shear-thinning)。

而一般業界及針對溫度剪切率去判定黏度值，而將黏度區分為剪切黏度(Shear viscosity)、拉伸黏度(Elongational viscosity)以及動態黏度(Dynamic viscosity)三種，前兩者代表材料在穩態(Steady)剪切流場及拉伸場下之黏度，後者則利用小振幅擺盪流場(Small amplitude oscillatory flow)對塑料施以正弦震盪(Sinusoidal oscillation)，再由響應之波型偵測塑料內部微結構之變化對於黏度之影響。目前 Dow 公司提供之材料黏度值則使用毛細管流變儀(Capillary viscosity)、平行板流變儀(Parallel viscometer)以及錐板式(Cone-and-Plate viscometer)進行量測而得。



Cross-Model 流變模式：

$$\eta = \left(\frac{\eta_0}{1 + \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*}} \right)^{1-n}$$

$$\eta_0(T) = B \cdot \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right)$$

參數： $P_1(n)$, $P_2(\tau^*)$, $P_3(B)$, $P_4(T_b)$, $P_5(D)$

Cross-WLF Model 流變模式：

$$\eta = \left(\frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{1-n}} \right) \quad \eta_0 = D_1 \exp\left(\frac{-A_1(T - T_C)}{A_2 + (T - T_C)}\right)$$

$$T_C = D_2 + D_3P$$

$$A_2 = \tilde{A} + D_3P$$

參數： $P_1(n)$, $P_2(\tau^*)$, $P_3(D_1)$, $P_4(D_2)$, $P_5(D_3)$, $P_6(A_1)$, $P_7(\tilde{A}_2)$

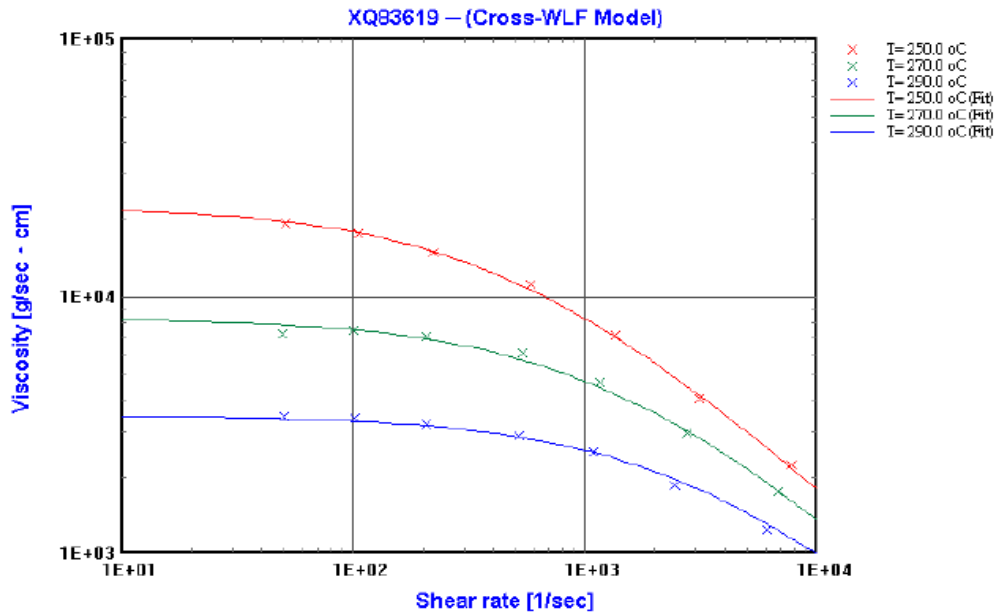


圖 2-8、Cross model 恆溫剪切黏度對剪切率圖形

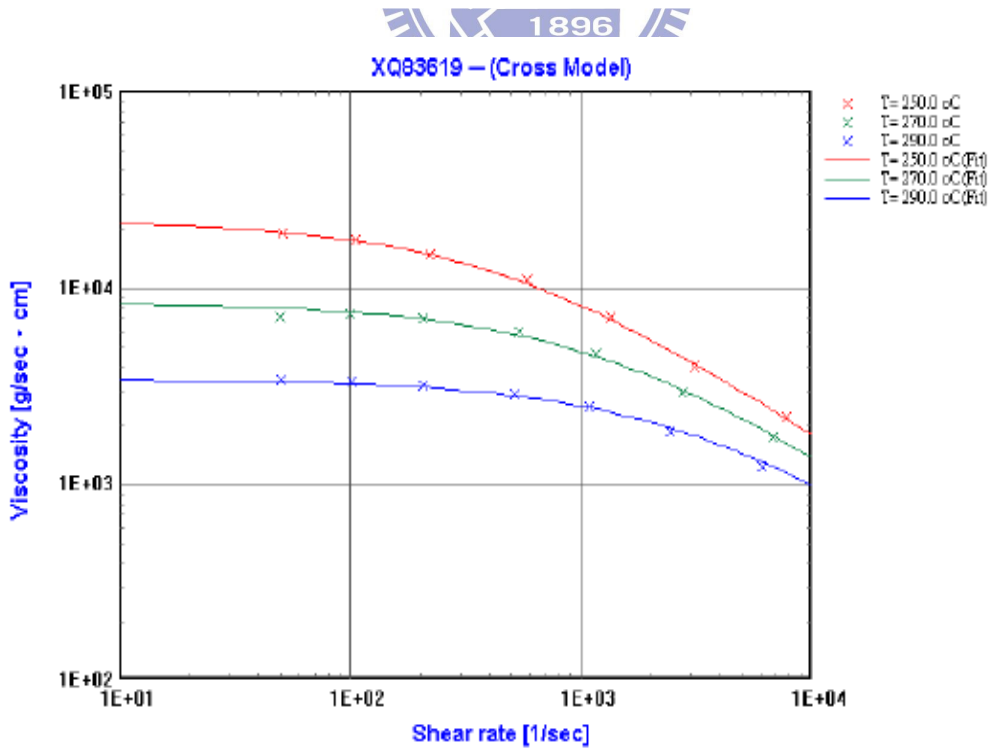


圖 2-9、Cross WLF model 恆溫剪切黏度對剪切率圖形

表 2-4、Cross model 之流變參數：

流變學參數	單位	數值
n	1/s	1.742427e-001
τ^*	dyne/cm ²	1.161627e+007
B	g/cm-s	8.957720e-008
Tb	K	1.372312e+004
D	cm ² /Dyne	0.000000e+000

表 2-5、Cross WLF model 之流變參數：

流變學參數	單位	數值
n	1/s	1.735215e-001
τ^*	dyne/cm ²	1.161664e+007
D1	poise	4.063249e+004
D2	K	5.125082e+002
D3	K-cm ² /dyne	0.000000e+000
A1	-	1.485861e+001
A2	K	2.548258e+002

2-4-2 “DOW” XQ83619 之黏彈性

高分子溶液或熔融物等流體，其受應力時，除了發生連續型變之黏性行為外，其形變量亦會在應力消失後而有回復，故同時具有”彈性”之特徵；此類流體同時具有液體之黏性(受剪力而發生流動)，同時亦具有固體之彈性(應力消失後形變回復)，故稱為黏彈性體，而黏彈性值(Viscoelasticity)亦可透過動態黏度量測加以度量，利用 Cox-Merz 經驗式即可將動態黏度值轉換成剪切黏度值。

一般黏彈性體具有下列之特殊性質：

- (1)、將黏彈性流體置於燒杯中並以順時針方向攪拌，當攪拌停止後，流體流速會變慢，最後轉換成朝逆時針方向發生旋轉；將黏彈性流體置於

燒杯中以較慢速度攪拌時，流體會攀附至攪拌棒上，如下圖(圖 2-10)所示[14]。

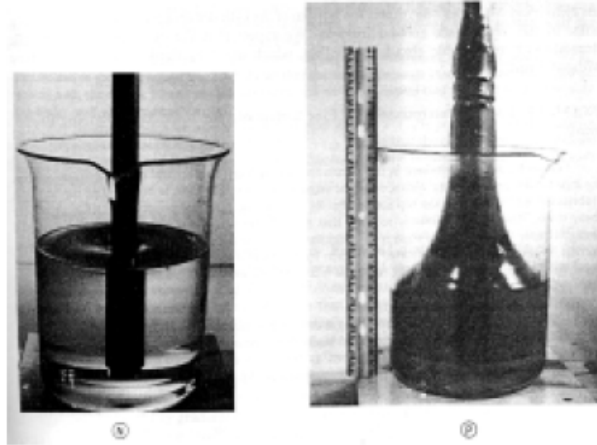


圖 2-10

(2)、黏彈性流體自較銳孔射出時會發生膨脹，液柱直徑會大於射出孔直徑，也就是其彈性之表現，如下圖(圖 2-11)所示[15]。

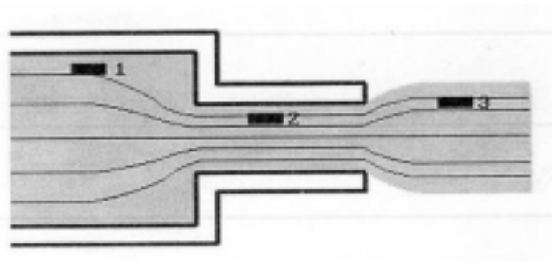


圖 2-11

(3)、黏彈性流體再往下方流動時，如以銳器剪斷時，上端會有往上彈回之趨勢，如下圖(圖 2-12)所示[14]。

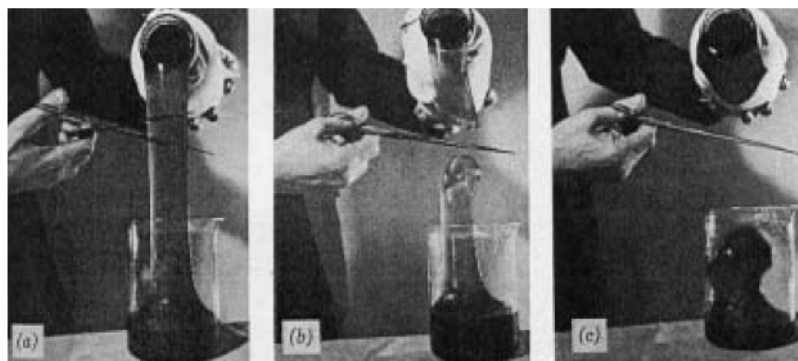


圖 2-12

(4)、將黏彈性流體往下倒時，當液柱碰觸到液面後會先反彈數次後，再繼續往下融入液面，如下圖(圖 2-13)所示[15]。

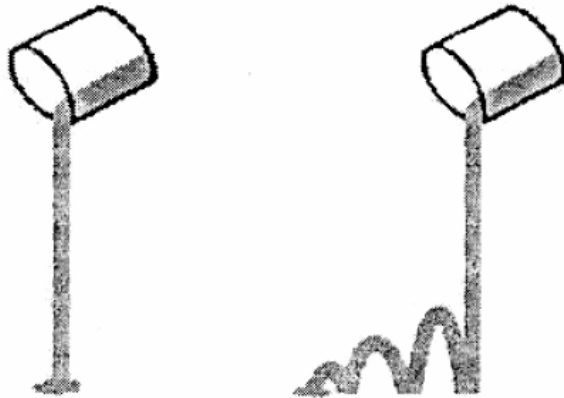


圖 2-13

(5)、在虹吸試驗中，一般流體在虹吸開始後，慢慢將虹吸管從液體中提起，此時虹吸現象會中斷；但黏彈性流體其虹吸作用可持續，此稱為”無管虹吸”，如下圖(圖 2-14)所示[16]。

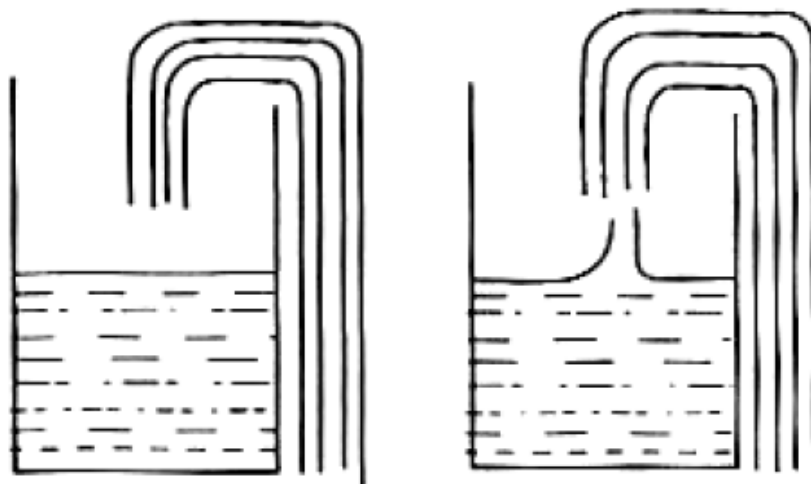


圖 2-14

因為塑膠高分子具有部分黏性及部分彈性之特質，並且黏彈性的效應在不同的彎度及剪切變形下黏彈性值均不同，對於射出成型之充填過程來說，塑膠高分子將由黏性主宰，流場呈現急遽變化，表面受模壁低溫影響

而快速冷卻使得流體應力凍結。

而在保壓過程中，由於固化層持續發展下，模腔內維持高溫而持續釋放應力，但是在澆口附近因為額外的塑料流進，在內部產生流動應力升高之情形；最後在冷卻過程中，因為冷卻效率之不同，將影響應力釋放之程度。

2-5 塑膠材料的熱性質及 P-V-T 特性

2-5-1 “DOW” XQ83619 之熱物特性[13]

一般其特性可區分為以下三種：

(1)、容積性質(Volumetric properties):

例如：比容、密度以及 PVT 關係

(2)、熱卡性質(Calorimetric properties)

例如：比熱、熱傳導係數、熔比熱及結晶熱。

(3)、轉移溫度(Transition temperature)

例如：玻璃轉移溫度及熔點

塑料在加工過程中，相變化由固體狀態經加熱成為液態(熔融狀)，最後再冷卻成為固態(固態→液態→固態)，其比容(v)或密度(ρ)隨相態之不同而有所不同，同時亦會因為壓力(P)及溫度(T)之變化而改變。塑料在液態狀況下，因其體積(V)較大，比容亦較大，所以高份子鏈之活動較自由；相反的，在固體狀態下則較緊密，而因為相的變化所形成比容之差異也就是造成塑料加工冷卻後之收縮(Shrinkage)主因之一。

熔化熱與結晶熱均屬於相轉移熱(Heat of phase transition)。熔化熱代表將單位塑料由固態熔化為液態所需之熱量；結晶熱則指結晶性塑料在結晶過程中所釋放之釋放熱量。

玻璃轉移溫度是指塑料微觀高分子鏈開始具有大鏈節運動之溫度。若

應用溫度低於玻璃轉移溫度，分子鏈節運動大部分被凍結，塑料呈現剛性硬脆之玻璃態(Glassy state)；反之，若應用溫度高於轉移溫度，分子鏈可自由運動，塑件即呈現柔軟繞曲之橡膠態(Rubbery state)，所以我們可以得之，玻璃轉移溫度即是塑料發生玻璃態-橡膠態相轉移之溫度；一般而言，固體塑件之應用溫度在轉移溫度之下，但是對於柔軟型之塑料，應用溫度則在轉移溫度之上。

熔點則為塑料由固態熔融成液態之溫度，在結晶性塑料而言，則有一個明顯熔點；但是對於非結晶性或不定型塑料，因熔融情形指發生在一定溫度範圍之間所以沒有明顯之熔點，一般塑料加工溫度範圍則約為熔點之附近溫度，目前”DOW” XQ83619 之玻璃轉移溫度(Tg)為 150 度，分解溫度為 400~450 度，另外軟化點為 120 度。

而其熱傳導係數(表 2-6)即為塑料熱傳導(Thermal conduction)特性之度量。由係數可以看出熱能由高溫傳向低溫之能力，係數越高則傳導效果越佳，且此係數攸關塑料之傳熱、冷卻性質、亦會影響到冷卻時間之長短；如果再加工過程中溫度傾向均勻，較不會因熱量局部堆積而有熱點之產生。

表 2-6、PC (DOW “XQ83619”)熱傳導係數表(W/m-°K)

溫度(°C)	壓力(bar)		
	300 bar	600 bar	900 bar
280	0.300	0.286	0.302
240	0.282	0.299	0.293
220	0.271	0.304	0.305
140	0.267	0.287	0.296
120	0.278	0.286	0.277
100	0.256	0.259	0.258

2-5-2 “DOW”XQ83619 之 P-V-T 模式參數[13]

由於塑料之比容或密度是由相狀態、壓力、溫度等等的函數，所以我們可以以 PVT 狀態方程式加以量化，而在此我們利用 PVT-100 測量儀，藉由等壓冷卻方式來量測比容值，壓力分別設定為 300bar、600bar、900bar，以 5°C/min 之冷卻速率，當塑料從最大容許溫度冷卻至室溫時，體積會產生變化，再將上方 position 產生之位移轉換成訊號輸出，使儀器得到量測之比容變化值。

P-V-T 狀態方程式：

$$V(T,P)=V_0(T)\{1-C*\ln[1+P/B(T)]\}+V_t(T,P)$$

其中，溫度大於轉移溫度→相狀態轉為液態，則：

$$T>T_t(P)$$

$$V_0(T) = b_{1m}+b_{2m}*T$$

$$B(T) = b_{3m}*\exp(-b_{4m}*T)$$

$$V_t(T,P) = 0$$

當溫度小於轉移溫度時→相狀態轉為固態，則：

$$T<T_t(P)$$

$$V_0(T) = b_{1s}+b_{2s}*T$$

$$B(T) = b_{3s}*\exp(-b_{4s}*T)$$

$$V_t(T,P) = b_7*\exp(b_8*T-b_9*P)$$

其中

$$C=0.0894$$

$$T=T-b_5$$

$$T_t=b_5+b_6*P$$

$$V_{in}(cm^3/g), T_{in}(^\circ C), P_{in}(Pa)$$



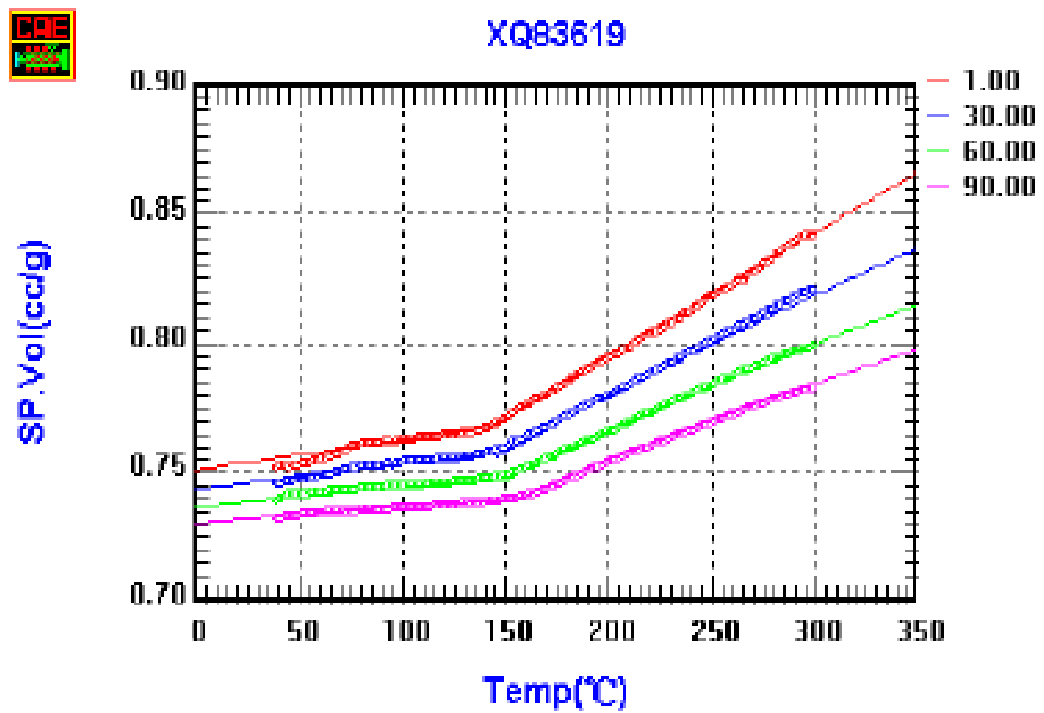
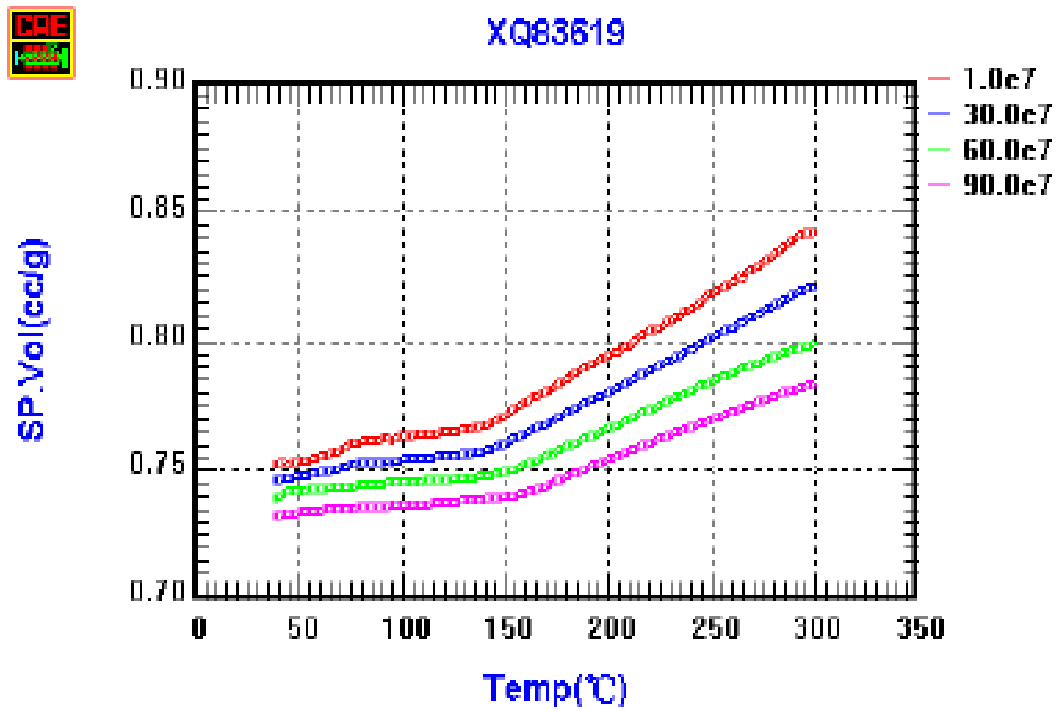
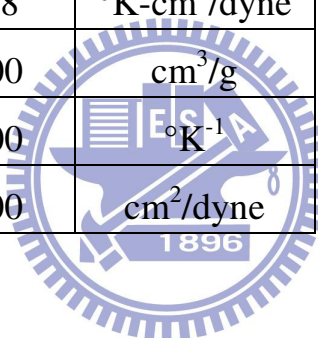


圖 2-15、P-V-T 關係圖

表 2-7、PC (DOW “XQ83619”)之 P-V-T 模式參數表：

參數	數值	單位
b _{1m}	7.663280e-001	cm ³ /g
b _{2m}	4.798394e-004	cm ³ /g°K
b _{3m}	1.492498e+009	Dyne/cm ²
b _{4m}	4.214874e-003	°K ⁻¹
b _{1s}	7.675325e-001	cm ³ /g
b _{2s}	1.169287e-004	cm ³ /g°K
b _{3s}	1.730722e+009	Dyne/cm ²
b _{4s}	2.535962e-003	°K ⁻¹
b ₅	4.128315e+002	°K
b ₆	1.685393e-008	°K-cm ² /dyne
b ₇	0.000000e+000	cm ³ /g
b ₈	0.000000e+000	°K ⁻¹
b ₉	0.000000e+000	cm ² /dyne



第三章 埋入射出成型強度特性實驗

3-1 實驗設計

目前研究所使用的沖壓、射出成型設備及模具由"綠點高新科技股份有限公司"協助提供及研究開發，高光學反射率塑料材質之特性及材料則由"台灣陶氏(DOW)化學股份有限公司"提供；在此次之實驗設計則以成品之規格需求為優先，以不同之特徵結構設計(零件結合特徵)去實驗得到需求的成品規格(尺寸、公差...)及品質(外觀品質:縮水、溢料、平整度...)，已達到預期之模組強度(Rupture stress)增益。

此次研究以量產品 2.4 吋模組作為實驗，其結構如下圖(圖 3-1,3-2)及下表(表 3-1,3-2)所示：

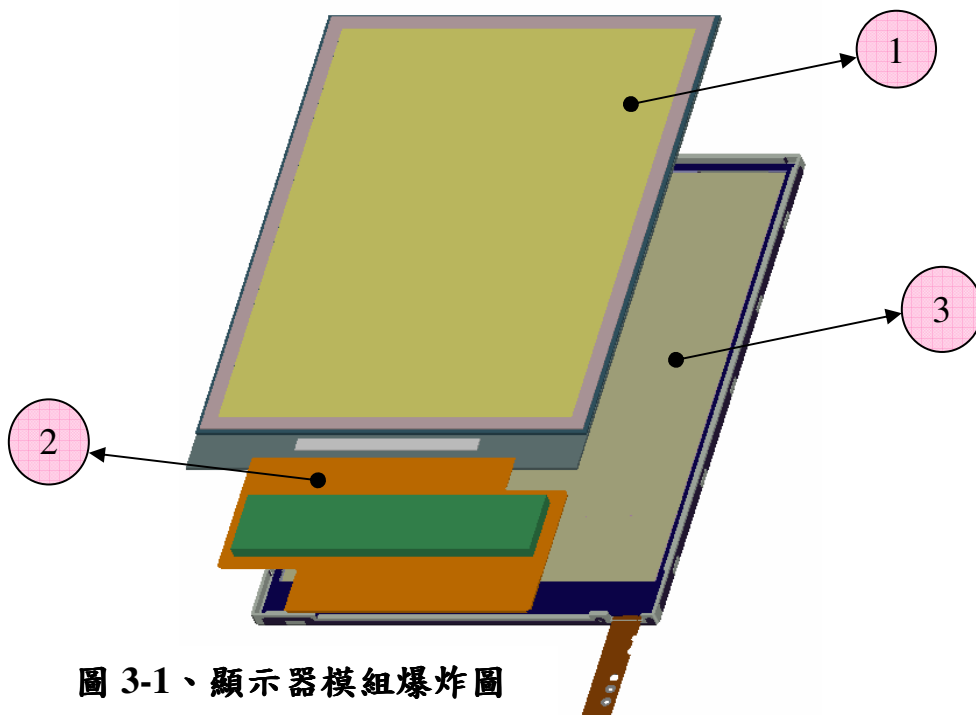


圖 3-1、顯示器模組爆炸圖

表 3-1、顯示器模組結構名稱及材料對應表

項目	名稱	材料
1	液晶顯示器面板	玻璃
2	可撓式電路板與電子元件	Polymide +銅箔
3	背光模組	如圖 3-2

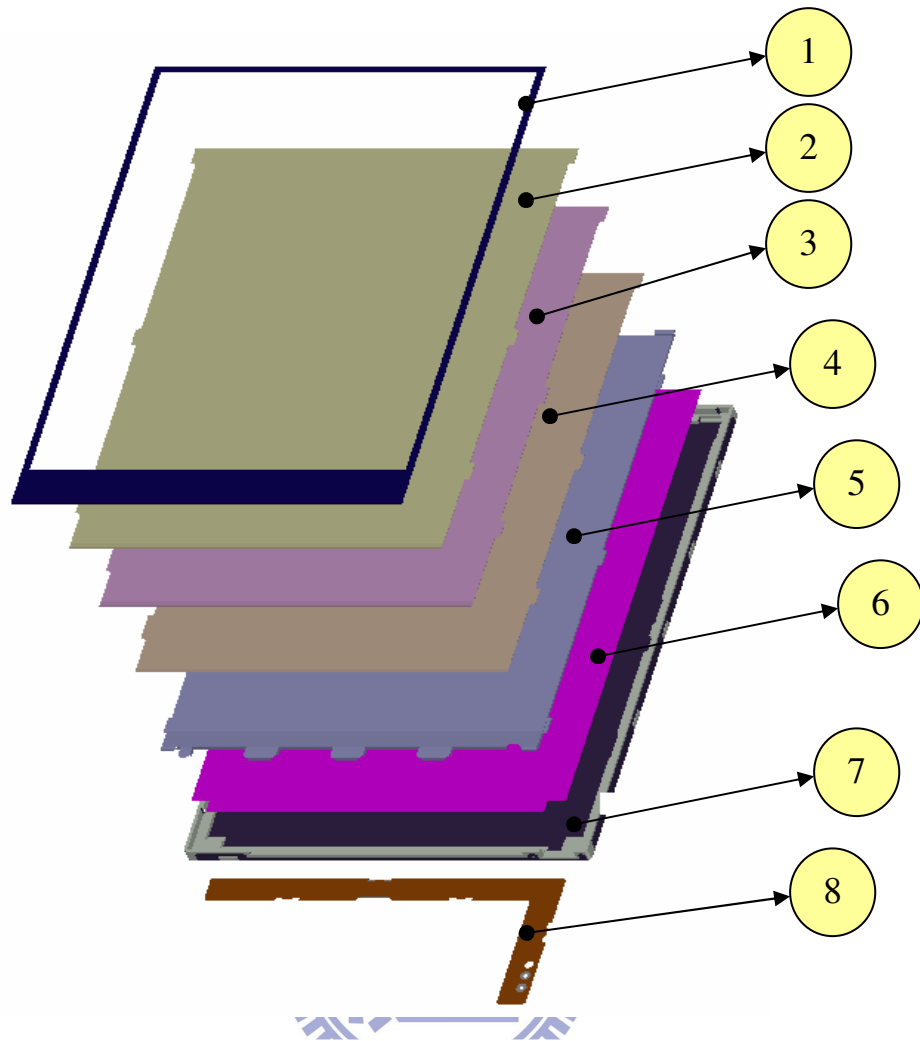


圖 3-2、背光源模組爆炸圖

表 3-2、背光源結構名稱及材料對應表

項目	名稱	材料	功能
1	遮光膠帶	PET	遮光
2	增亮膜片(上)	PET	集光
3	增亮膜片(下)	PET	集光
4	擴散膜片	PET	擴散
5	導光板	PC	轉換點(線)光源成面光源
6	反射膜片	PET	反射
7	埋入式射出品	不鏽鋼+ PC	保護(強度)、增光、光反射
8	光源	FPC+LED	發光源

3-1-1 成品之規格需求

埋入射出成品之規格即是液晶顯示器模組之規格，一般規格需求為模組之高度(Height)、寬度(Width)及深度(Depth)以及置放液晶顯示面板及導光板之膠框內側高度及寬度等 11 個重點尺寸(圖 3-3)；外觀高度及寬度之公差訂定為 $\pm 0.12\text{mm}$ ，而深度公差則為 $\pm 0.15\text{mm}$ ，置放面板之內側高度及寬度之公差為 $\pm 0.1\text{mm}$ ，置放導光板之內側高度及寬度之公差則為 $\pm 0.05\text{mm}$ (表 3-3)；對於強度之需求則定義在四點彎折測試時之破裂強度(Rupture stress)達到 200MPa 以上。此外，針對成品外觀上，溢料、水痕、凹痕縮水以及變形等異常是不容存在的。

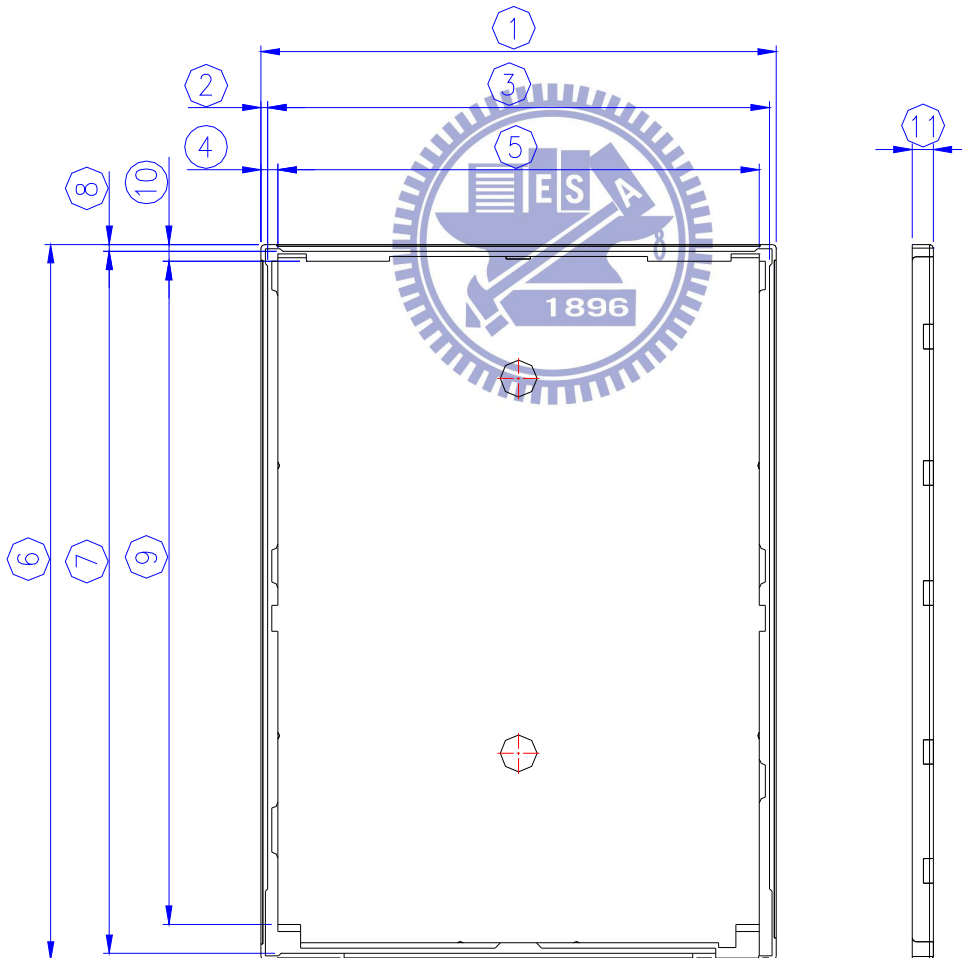


圖 3-3、成品重點尺寸圖

表 3-3、成品重點尺寸及對應公差表

編號	尺寸	公差	單位	註記
1	41.93	±0.12	mm	模組寬度
2	0.550	±0.08	mm	側牆厚度
3	40.83	±0.10	mm	承載面板尺寸
4	1.380	±0.08	mm	承載導光板位置尺寸
5	39.17	±0.05	mm	承載導光板尺寸
6	58.26	±0.12	mm	模組高度
7	57.16	±0.10	mm	承載面板尺寸
8	0.550	±0.08	mm	側牆厚度
9	53.97	±0.05	mm	承載導光板尺寸
10	3.38	±0.08	mm	承載導光板位置尺寸
11	1.720	±0.15	mm	模組深度

3-1-2 研究方法:

在實驗過程中，影響成品尺寸之因子除了一般所知的射出參數(模溫、熔膠溫度、充填速度、保壓時間及壓力、冷卻時間)外，我們再增列四點，而這些因子對於成品尺寸及射出成型之影響如下：

(1)、板金件之摺邊角度：

此實驗之板金件折彎成型角度設計值為 90 ± 1 度，折彎 R 角為 0.3mm，如下圖(如圖 3-4)所示，板金件之摺邊側牆與模穴側壁間留一間隙，但如果成型角度大於 90 度時(板金件外部尺寸大於標準值)，板金件之側牆會與模穴側壁接觸(兩物件會產生干涉效果)，當模具關閉時會因為板金件放置於模穴時歪斜或干涉而造成板金件損傷，而造成成型品尺寸及外觀不良。

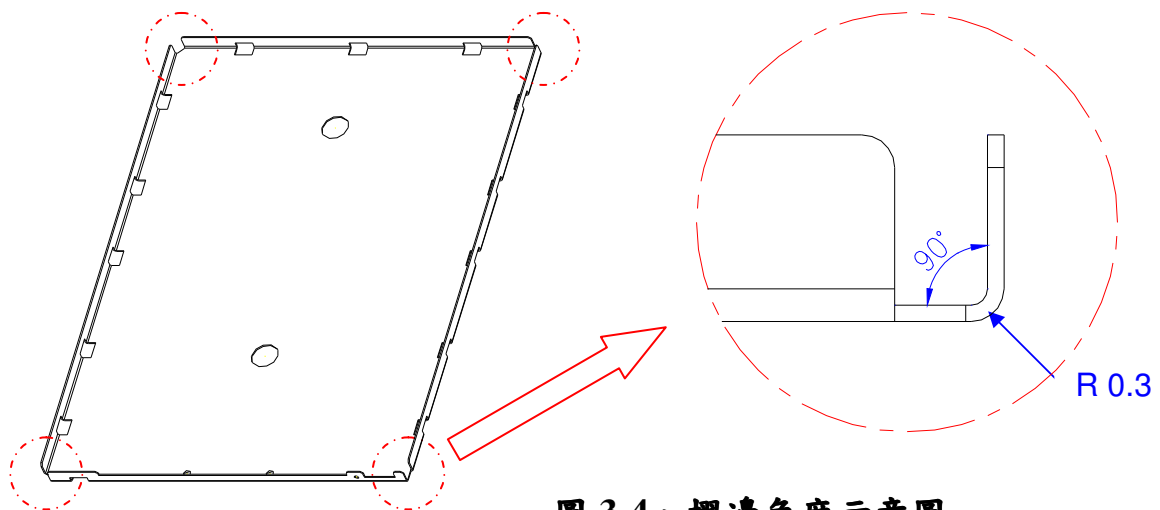


圖 3-4、摺邊角度示意圖

(2)、板金件深度公差：

一般沖壓件之深度公差值為 $\pm 0.05\text{mm}$ ，而在此實驗中，我們將此公差設計為 $\pm 0.03\text{mm}$ ，如下圖(圖 3-5)所示，此公差值也是目前沖壓製程之最大極限；因為在設計時，我們將金屬件之側牆最高點設計與膠框最高點同高，也就是說，當板金放置於模穴中時，當模具關閉時，以上模具之內緣不碰觸板金件側牆之最高點為原則，如果高度過高，也就是模具與金屬件之間隙從餘隙配合變成干涉配合，此時金屬件則被模具壓傷而變形；反之，如果間隙過大，則在射出成型時，會有溢膠(塑料覆蓋在鐵件側牆外壁)情形發生。

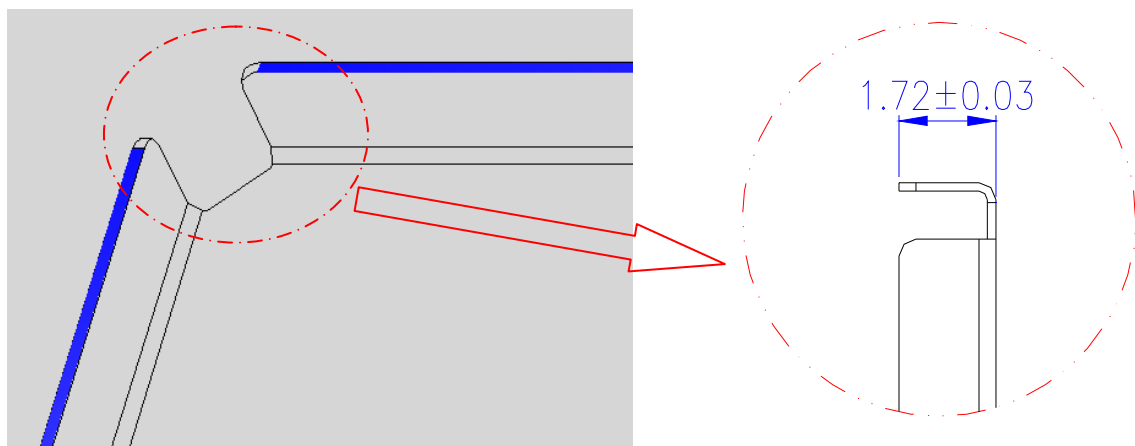


圖 3-5、深度尺寸示意圖

(3)、結合特徵尺寸及數目：

結合之定義為在板金件上做數個缺口，而在射出成型之充填過程時，促使流體塑料能與板金件有 x-y-x 三軸向的結合；如下圖(圖 3-6(b))所示，藍色與橘色區域為兩物件結合之區域。尺寸越大、結合面積越多則結合性越佳，但因考慮板金件單體強度，在這個實驗中，結合特徵之尺寸設計如下圖(圖 3-6(a))所示。

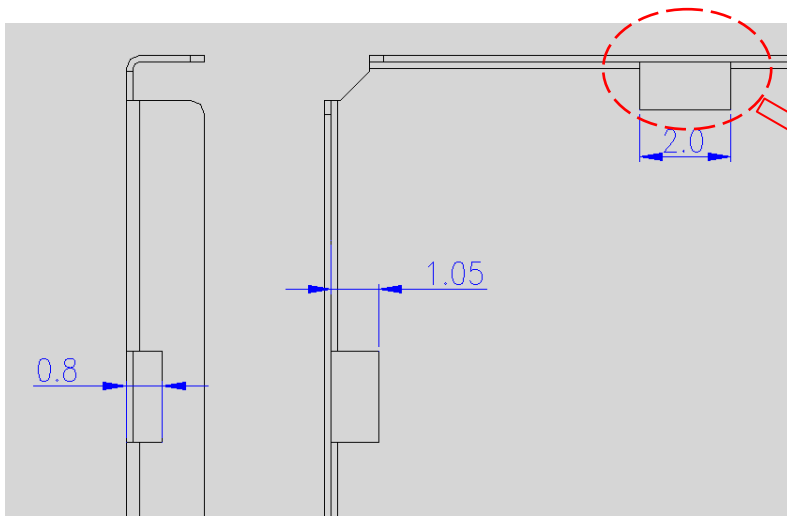


圖 3-6(a)、結合特徵尺寸圖

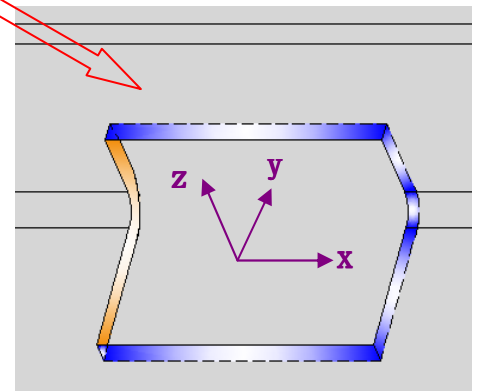


圖 3-6 (b)、結合區域示意圖

在結合特徵尺寸單元中我們提到，尺寸越大、結合面積越多則結合性越佳，但在此實驗中，因採用 0.15mm 厚度之不銹鋼板，所以單一特徵結合的面積大約為：

$$[(0.15 * 2.0) + (0.15 * 1.05) + (0.15 * 0.8)] * 2 = 1.065 \text{mm}^2$$

為了考慮結合面積及受力均勻性，所以盡量以對稱方式設計，部分位置(軟性電路板區域)因結構考量，則設計三個 $\psi 1.0\text{mm}$ 圓孔作為兩物件之結合，如下圖(圖 3-7)所示，結合特徵總數為 14 個方形孔及 3 個圓孔。

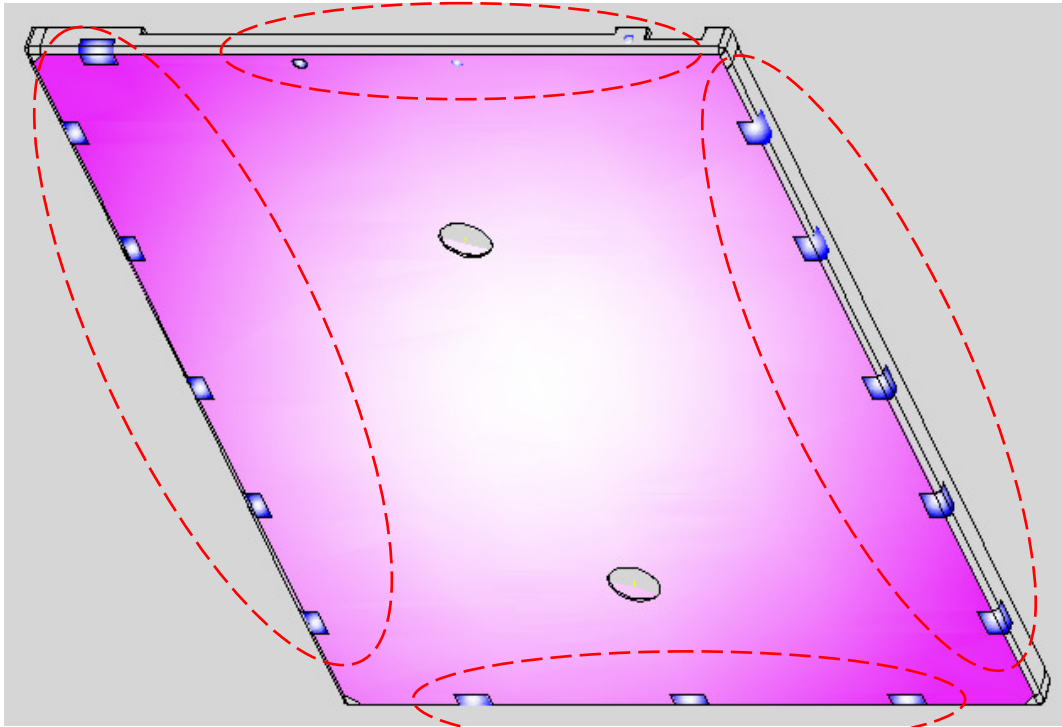


圖 3-7、結合特徵數量示意圖

(4)、頂出銷尺寸、數量及位置：

此次實驗中，在與射出廠商“綠點”討論過後，在頂出過程中為了讓產品在頂出過程中能讓產品順利的脫離模穴，我們將頂出銷平面設計採用 $\psi 2.5\text{mm}$ 圓柱面，總共為 10 個頂出銷，其分佈之位置如下圖(圖 3-8)所示。

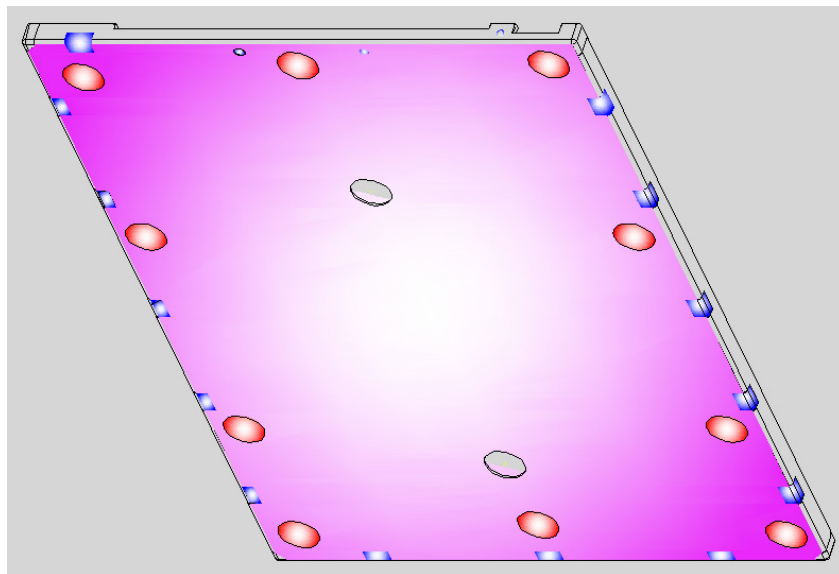


圖 3-8、頂出銷位置分佈圖

3-1-3 實驗步驟

在此次實驗中，實驗之步驟大致上可分為沖壓成型及射出成型兩個過程，實驗之步驟如下圖(圖 3-9)之流程圖所示。

實驗流程：

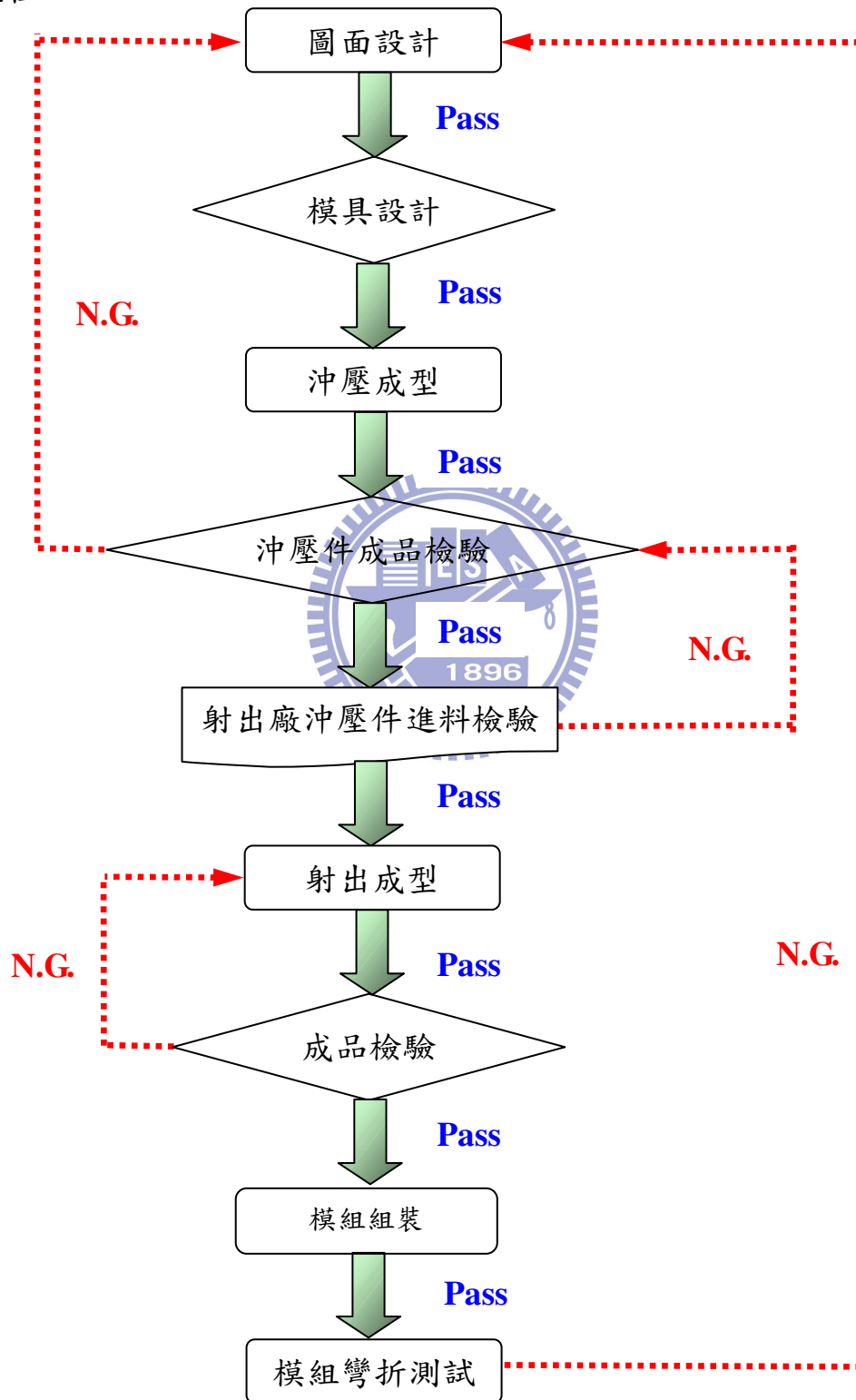


圖 3-9、預計進行之實驗流程圖

3-2 實驗材料及設備

3-2-1 金屬件及射出件材料選擇

(1)、板金件材料

依手機用液晶顯示器模組之需求，目前使用最多且最頻繁之材料為不鏽鋼3系列產品，其中以SUS 304 1/2H為大宗，因其成型性好且耐蝕性、耐熱性、低溫強度和機械性能優良；而就厚度來說，0.15mm以及0.2mm這兩種厚度的鋼材使用最為廣泛。

(2)、射出件材料

因液晶顯示器之亮度需求，塑料之選用必須具備良好的光學反射率，目前業界在射出成型製程上所使用是“台灣陶氏(Dow)化學股份有限公司”的高反射性聚碳酸酯(PC)原料 -- “DOW” XQ83619。

表 3-4、“DOW” XQ83619 之物性表[13]:

材料特性	公制單位數值
物理特性	
流率(300°C/1.2Kg)	17 g/10 min
模壓收縮率	0.004~0.006 (mm/mm)
機械特性	
抗拉強度	95 MPa
斷裂伸長率	95 %
彎曲強度	92 MPa
彎曲係數	2500 MPa
艾氏衝擊強度(@23°C)	580 J/m
光學反射率	95 %
比重	1.32 g/cc

3-2-2 沖壓、射出成型機及週邊設備之規格

(1)、沖壓機台規格：

A、沖床 - 110T，如下圖(圖3-10(a))所示。

用途：切邊沖孔、折彎、沖窗孔。



圖 3-10(a)、110T 沖床 圖 3-10(b)、80T 沖床

B、沖床 - 80T，如下圖(圖3-10(b))所示。

用途：壓毛邊及整型壓毛邊。

C、連續模模具。

(2)、射出成型機規格：

此次實驗的射出成型機為”綠點高新科技股份有限公司”自製的直壓式射出成型機，機台型號為”Polypax-G200”，如下圖(圖3-11(a)、(b))所示，。



圖 3-11(a)、Polypax G200 射出成型機

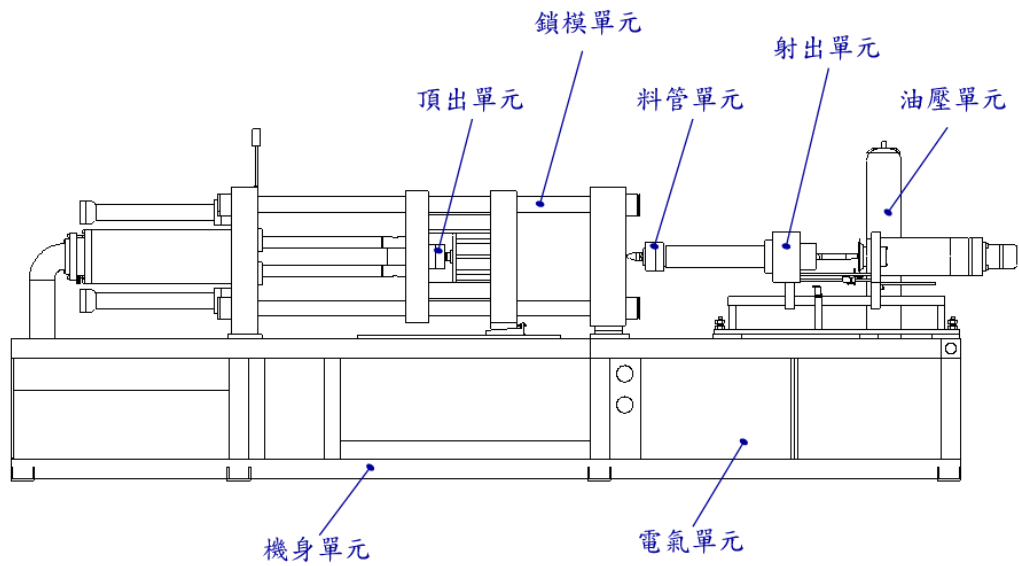


圖 3-11(b)、射出成型機單元組合

(3)、其他週邊設備及用具：

A、沖壓周邊設備：

a、表面處理：超音波清洗機(圖3-12)、清洗籃、烘乾機。



圖 3-12、超音波清洗機

b、包裝：泡殼、PE袋。

c、檢測儀器：3D、2D量床、游標卡呎、厚薄規。

B、射出成型周邊設備：

- a、箱型乾燥機(圖3-13)：將成型材料在供給射出成型機之前，排除材料中的水分。



圖 3-13、箱型乾燥機

- b、模溫機(圖3-14)：模具的溫度控制。



圖 3-12、模溫機

c、機械手臂(圖3-15)：挾持板金件，並將其放進模具中。



圖 3-15、機械手臂

d、熱澆道控制器(圖3-16)：



圖 3-16、熱澆道控制器

3-3 實驗量測方法及工具

3-3-1 外觀尺寸之量測

(1)、量測手法：

在成品規格的章節中，我們可以了解此次實驗中，對於成品規格訂定總共分為 11 個重點尺寸；以現行之液晶顯示器模組之尺寸量測手法如下圖所示(圖 3-17)；以外觀寬度尺寸為例，合格品之定義為同一面需量測三個位置的尺寸，且三個量測而得之尺寸皆需在規格內。

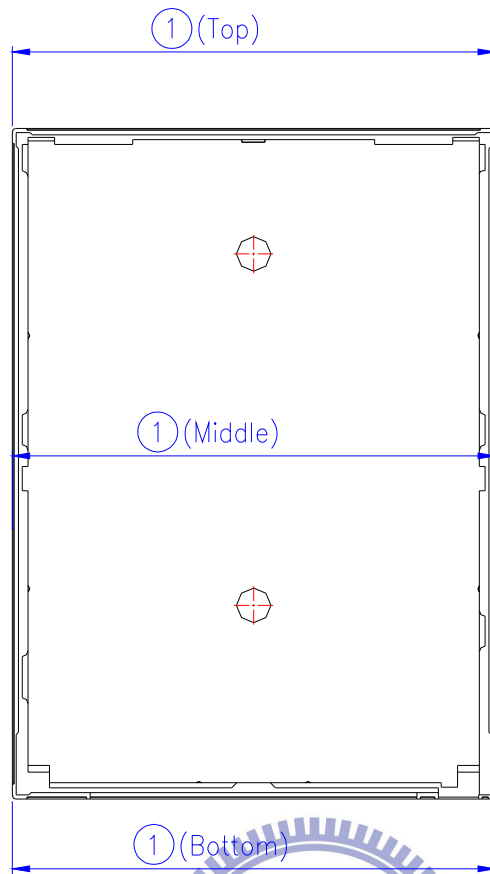


圖 3-17、外觀尺寸量測手法

(2)、量測工具：

- A、3D 量測儀。
- B、游標卡。
- C、分釐卡。
- D、厚度規。

3-3-2 模組強度之量測

(1)、量測手法：

研究之強度探討主要是以四點彎折測試值為判斷基準，這也是目前手機用液晶顯示器模組判定模組強度之慣用測試手法，測試方式如下圖(圖 3-18)所示。

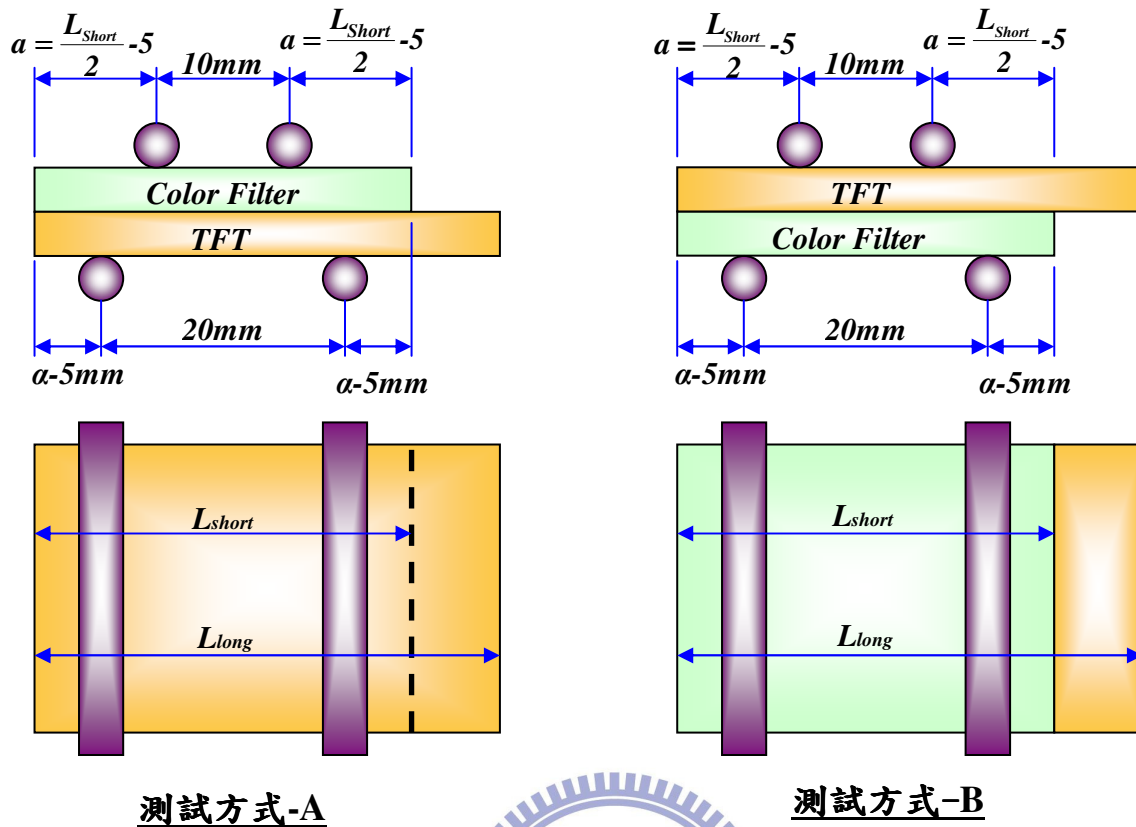


圖 3-18、彎折測試示意圖

(2)、測試治具及機台

研究之強度探討主要是以四點彎折測試值為判斷基準，這也是目前手機用液晶顯示器模組判定模組強度之慣用測試手法，彎折測試治具如下圖(圖3-19)所示。

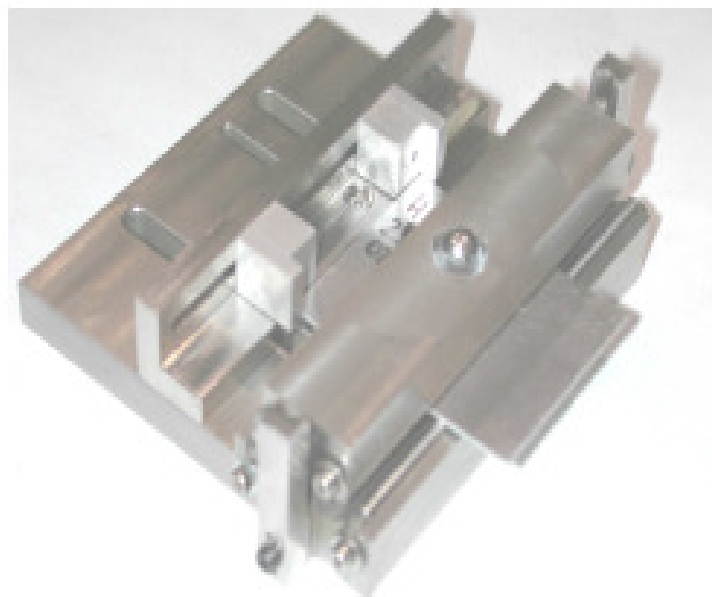


圖 3-19、四點彎折測試治具圖

第四章 手機顯示器模組強度改善實驗

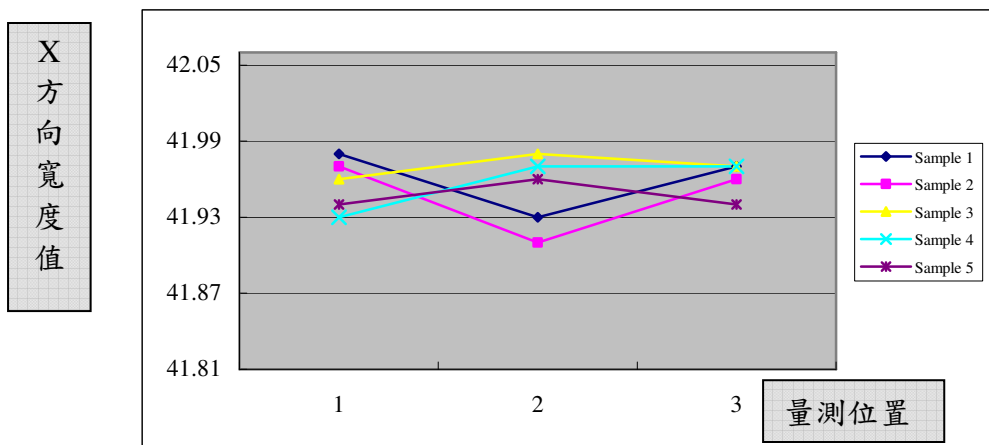
4-1 成品外觀參數值之變化

在此次研究中，我們針對成品之重點尺寸，外觀品質及模組強度並依據前章節所列出之五項影響因子來做比較，依據目前客戶之規定，每尺寸各量測 5 片樣品(表 4-1)，再分析異常原因並加以改善以達到合格尺寸，而分析之結果及改善之設計方式亦可當作往後此類產品之設計規範。

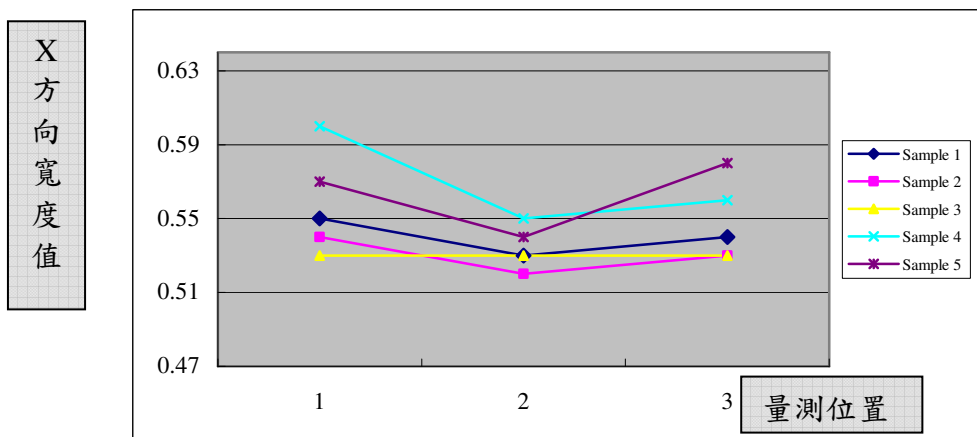
4-1-1 重點尺寸及外觀品質之比較(如圖 3-3 所示)

(1)、成品重點尺寸量測數據表(表 4-1):

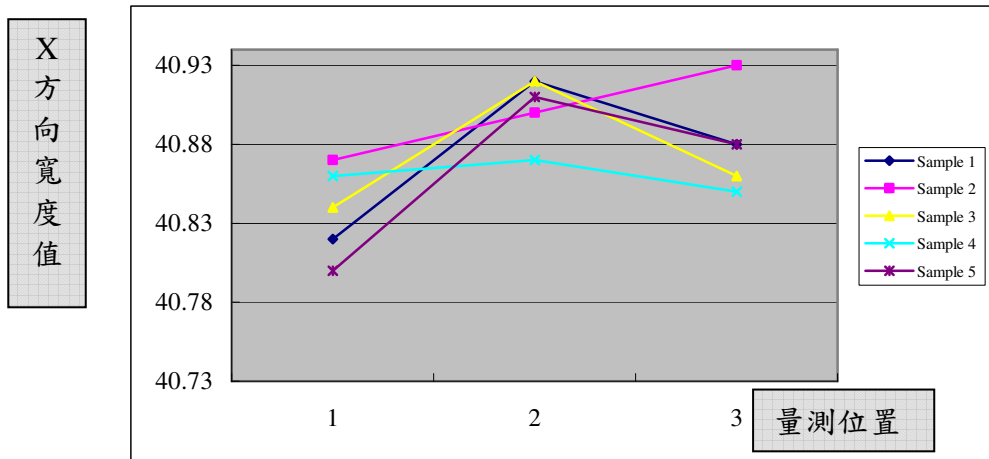
A、模組寬度值(X 方向/設計值： $41.93\pm 0.12\text{mm}$)：



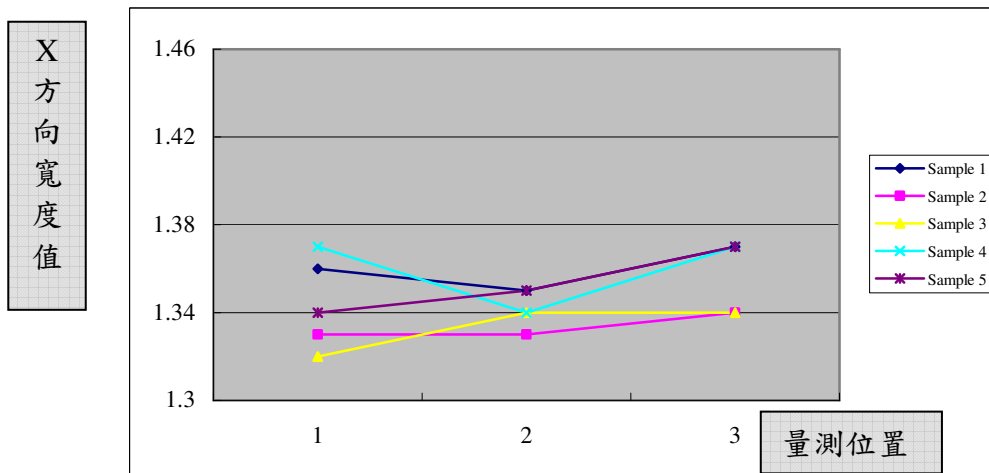
B、側牆厚度值(X 方向/設計值： $0.55\pm 0.08\text{mm}$)：



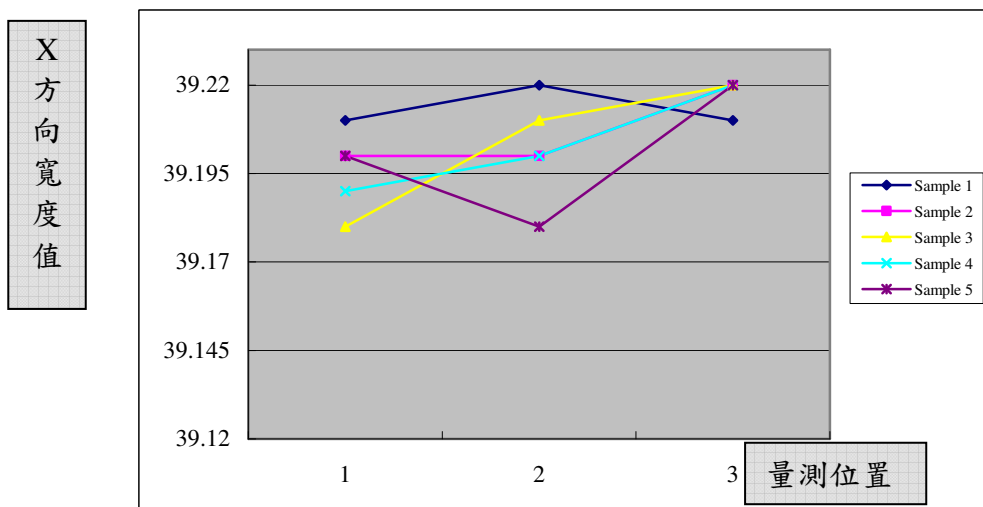
C、承載面板尺寸值(X 方向/設計值：40.83±0.1mm)：



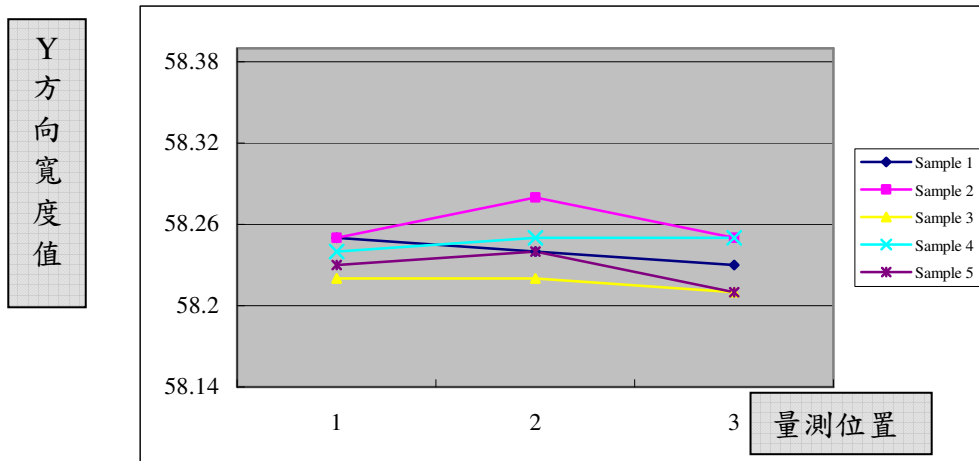
D、承載導光板位置尺寸值(X 方向/設計值：1.38±0.08mm)：



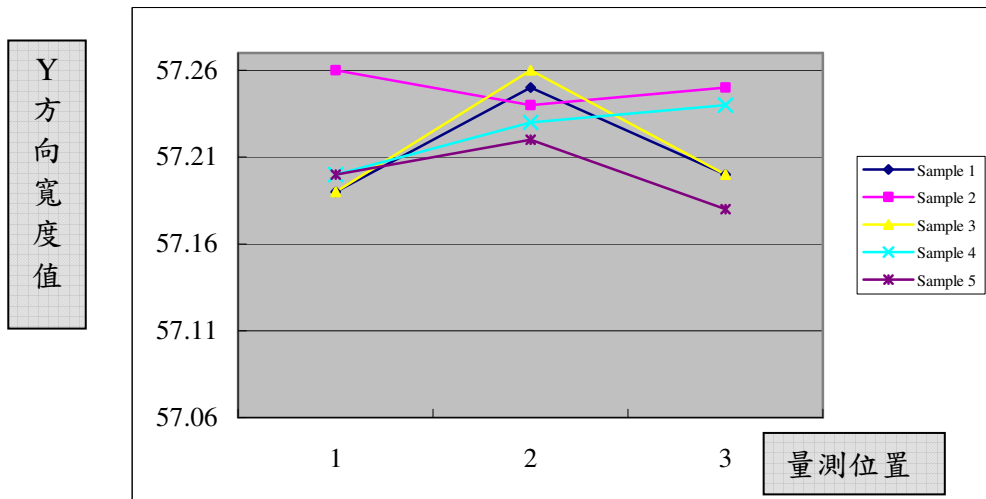
E、承載導光板尺寸值(X 方向/設計值：39.17±0.05mm)：



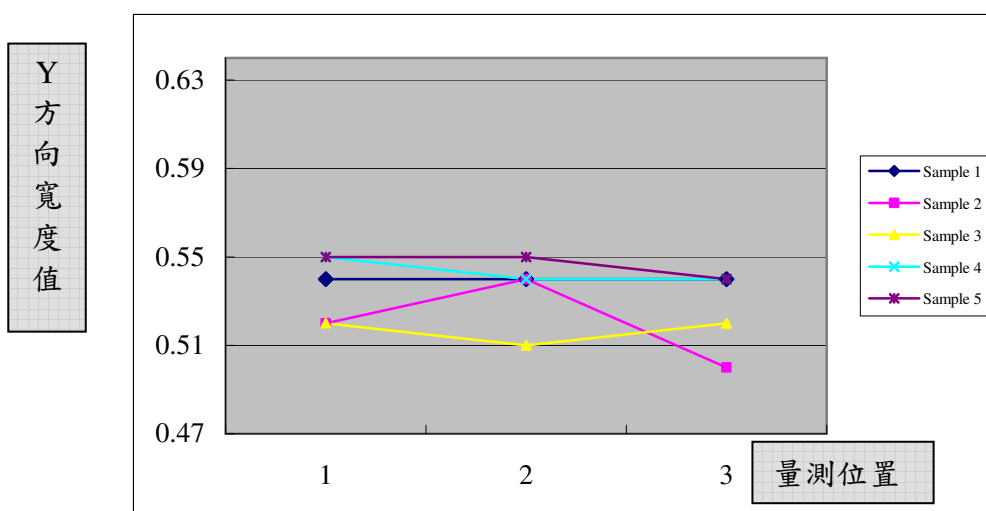
F、模組高度(Y 方向/設計值：58.26±0.12mm)：



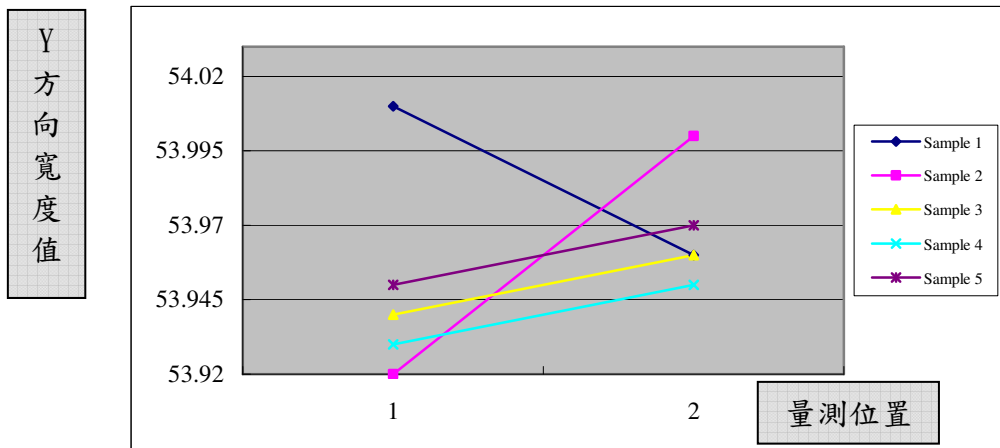
G、承載面板尺寸值(Y 方向/設計值：57.16±0.1mm)：



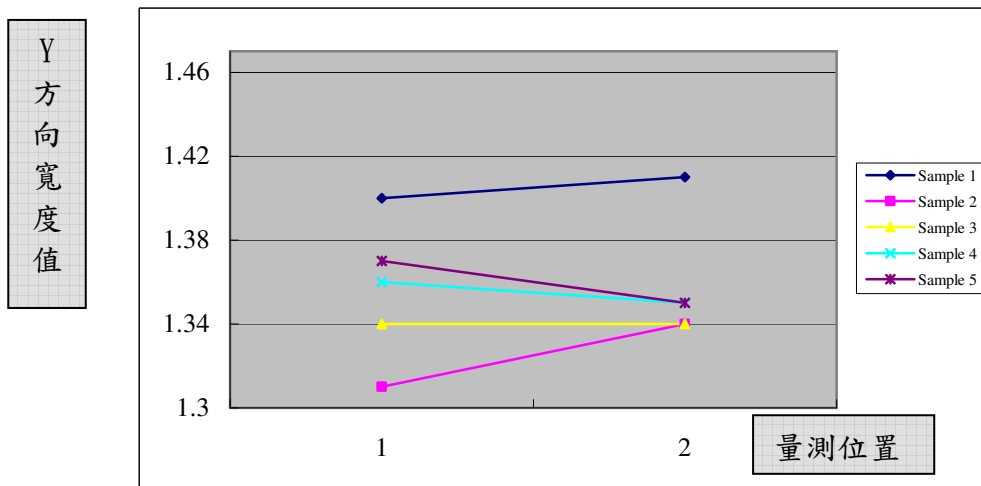
H、側牆厚度(Y 方向/設計值：0.55±0.08mm)：



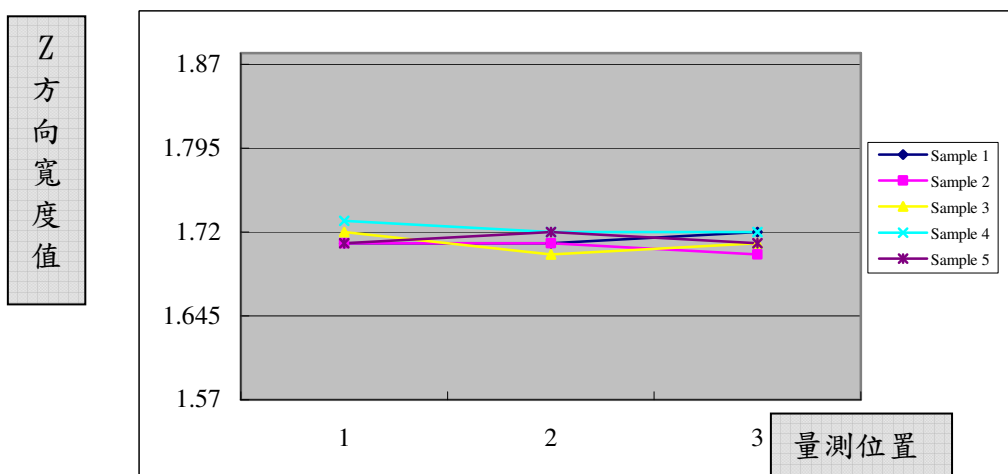
I、承載導光板尺寸值(Y 方向/設計值：53.97±0.05mm)：



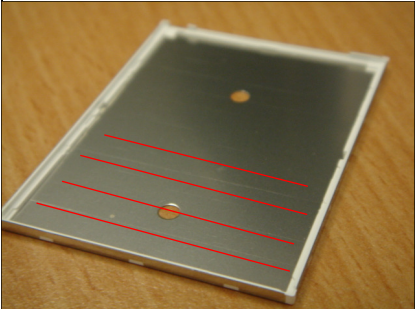
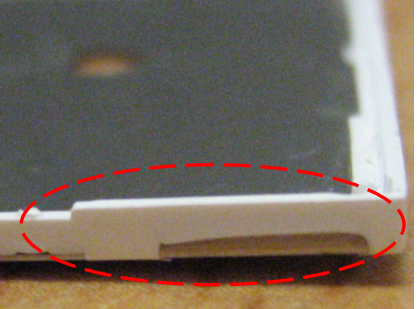
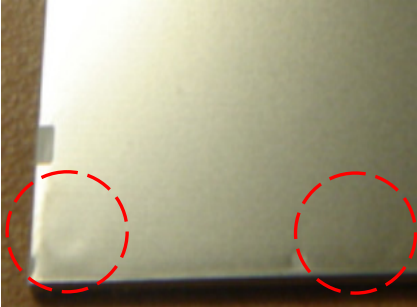
J、承載導光板位置尺寸值(設計值：Y 方向/1.38±0.08mm)：



K、模組深度值(Z 方向/設計值：1.72±0.15mm)：



(2)、模組外觀品質(表 4-2)：

異常情形	異常敘述	發生原因
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 零度斜紋。 2. 異常率 100%。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬件分條整平滾輪造成。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 側邊溢料。 2. 平整度不足。 3. 異常率 100%。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬件折邊高度小於設計值。 2. 金屬件折邊角度過大，造成外觀尺寸過大，於合模時產生變形。
	<ol style="list-style-type: none"> 1.頂出痕 2.異常率 100%。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.金屬件側邊與模具間隙過小，產品頂出需要更大力量。 2.頂出銷尺寸過小及位置過多。

4-1-2 模組強度測試之比較

目前先行以量產機種(2.41")傳統式設計量測數據為依據，以作為後續埋入射出成型後成品之比較，表 4-3 為玻璃單體四點彎折測試得知之數據，表 4-4 為玻璃組上背光之半成品模組彎折強度，表 4-5 為傳統式模組之測試數據；在表中，很明顯的可以看出兩種模組之破裂強度都未達客戶之標準 (200MPa)，而埋入射出成型其模組破裂強度實驗數據為 229MPa(表 4-6)，所以由數據可以得知使用埋入射出成型確實可以增加強度且達到客戶之需求。

破裂強度			
編號	單位(MPa)	編號	單位(MPa)
樣品_01	146.41	樣品_11	187.66
樣品_02	139.87	樣品_12	168.55
樣品_03	149.93	樣品_13	137.86
樣品_04	182.63	樣品_14	168.55
樣品_05	153.96	樣品_15	142.38
樣品_06	160.50	樣品_16	119.74
樣品_07	163.51	樣品_17	150.43
樣品_08	135.34	樣品_18	133.83
樣品_09	160.50	樣品_19	175.59
樣品_10	156.97	樣品_20	145.91
平均	154.01		

表 4-3、液晶面板之彎折強度

破裂強度			
編號	單位(MPa)	編號	單位(MPa)
樣品_01	170.56	樣品_11	152.85
樣品_02	181.12	樣品_12	172.57
樣品_03	181.12	樣品_13	159.49
樣品_04	148.42	樣品_14	151.44
樣品_05	153.45	樣品_15	108.17
樣品_06	196.72	樣品_16	164.52
樣品_07	176.60	樣品_17	118.23
樣品_08	135.84	樣品_18	166.03
樣品_09	191.69	樣品_19	181.12
樣品_10	205.78	樣品_20	184.14
平均	165.00		

表 4-4、傳統式模組彎折強度(不含鐵殼)

破裂強度			
編號	單位(MPa)	編號	單位(MPa)
樣品_01	194.20	樣品_11	186.15
樣品_02	171.56	樣品_12	179.61
樣品_03	187.66	樣品_13	199.74
樣品_04	206.78	樣品_14	161.00
樣品_05	192.19	樣品_15	215.46
樣品_06	185.65	樣品_16	163.51
樣品_07	176.60	樣品_17	215.05
樣品_08	161.50	樣品_18	139.36
樣品_09	225.78	樣品_19	206.28
樣品_10	230.03	樣品_20	207.41
平均	190.56		

表 4-5、傳統式模組彎折強度(含鐵殼)

破裂強度			
編號	單位(MPa)	編號	單位(MPa)
樣品_01	201.85	樣品_11	260.11
樣品_02	220.87	樣品_12	234.96
樣品_03	202.41	樣品_13	251.56
樣品_04	253.07	樣品_14	219.36
樣品_05	205.51	樣品_15	214.33
樣品_06	260.62	樣品_16	246.53
樣品_07	232.95	樣品_17	254.58
樣品_08	214.83	樣品_18	247.03
樣品_09	234.96	樣品_19	236.47
樣品_10	199.20	樣品_20	208.29
平均	229.97		

表 4-6、模組彎折強度(埋入射出成型)

4-2 各項因子對產品的影響

4-2-1 板金件折邊角度的影響

由下圖(圖 4-1)所示，為了射出成形時避免板金健行與模具磨擦造成產品異常，所以板金件之外觀成形尺寸公差為 $\pm 0.05\text{mm}$ ，也就是說折邊單邊之公差不可大於 0.025mm ；當側牆之折邊為 $+1$ 度時，我們可以從圖 4-2(a)、(b)、(c)、(d)得知，折邊角度公差 90 度時，與垂直邊之尺寸為 1.0mm ，而角度公差在 1 度、 1.5 度及 2.0 度時，折邊高度尺寸之變化量都在 $0.9\mu\text{m}$ 以內，但是寬度的變化量在 91 度時便已達到單邊設計值之最大公差 (0.025mm)，所以大於 91 度後，外觀尺寸即超出設計公差值 0.05mm ；當外觀尺寸大於超出設計最大值時，在合模時模具會與金屬件因干涉產生磨擦或變形，甚至會因此而造成模具損傷之問題。

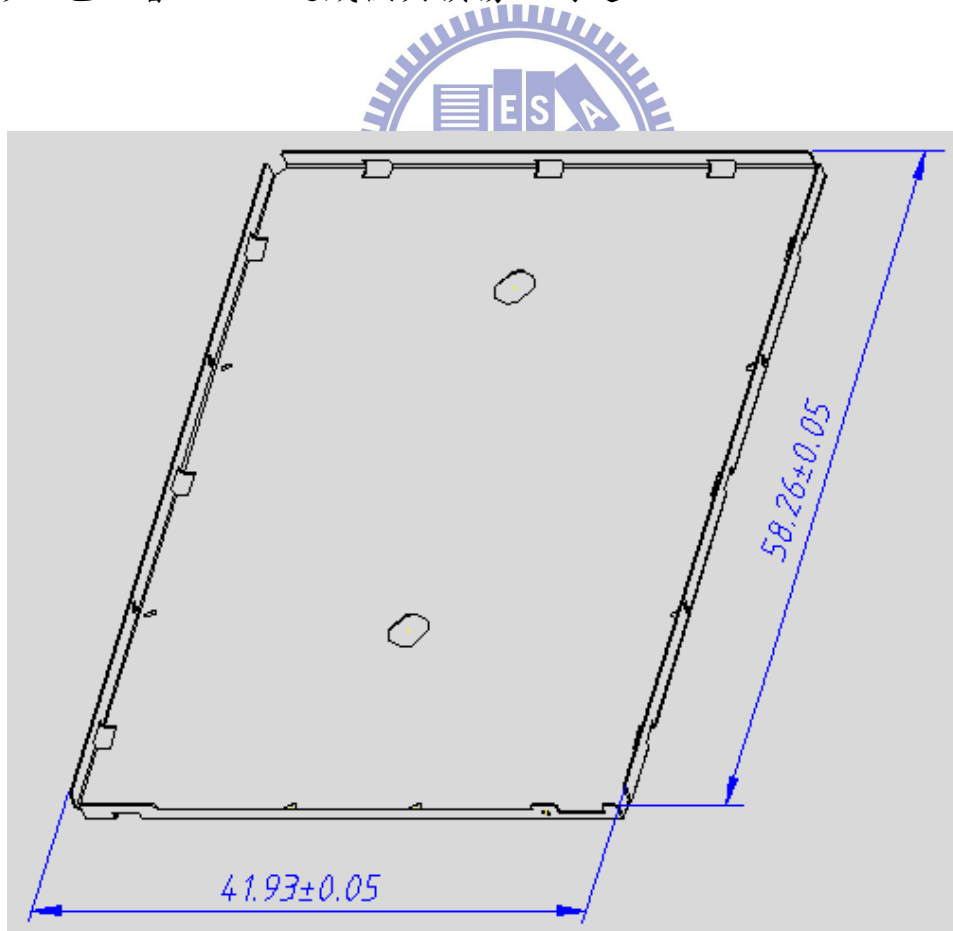


圖 4-1、板金件外觀尺寸及公差

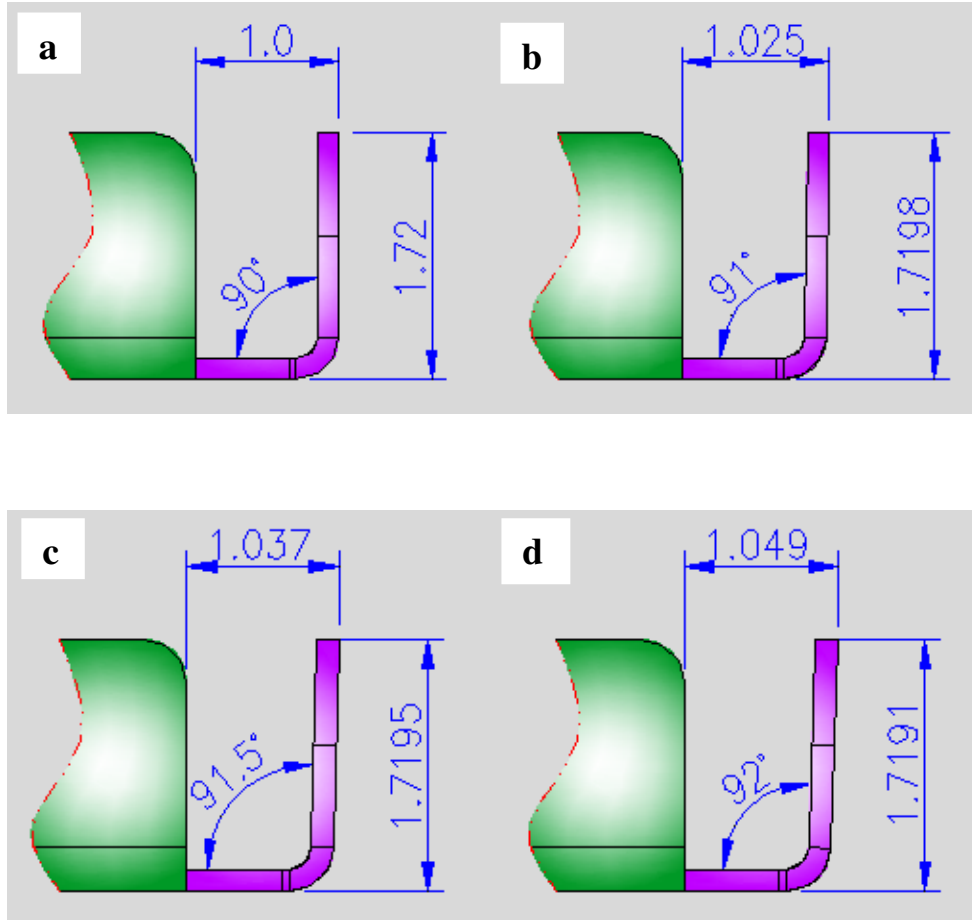


圖 4-2、板金件折邊角度與尺寸關係示意圖

破裂強度			
編號	單位(MPa)	編號	單位(MPa)
樣品_01	155.86	樣品_11	259.91
樣品_02	170.74	樣品_12	233.52
樣品_03	190.51	樣品_13	254.61
樣品_04	165.43	樣品_14	215.85
樣品_05	156.13	樣品_15	205.73
樣品_06	250.25	樣品_16	249.19
樣品_07	225.89	樣品_17	250.38
樣品_08	200.38	樣品_18	249.14
樣品_09	245.78	樣品_19	230.29
樣品_10	238.34	樣品_20	199.68

表 4-7、折彎角度大於 92 度與良品彎折測試之比較表

以 20 片取樣模組中取 5 片折邊角度 2 度之不良品作彎折測試來判定，我們可發現會有測試值變化太大及降低之結果，如表 4-7 所示(不良品取樣數編號:樣品 1~5)；而在這些不良品之外觀上得知，因角度太大而造成寬度超出設計值，於合模時被模具壓迫而使折邊破孔處有變形及應力集中之情形，從測試後之成品上可以看到金屬件與膠框在這些地方有剝離之情形(如圖 4-3 所示)，因而降低了模組強度，所以在金屬件之折邊角度需控制在 91 度以下才能保持成品之外觀品質及強度需求。

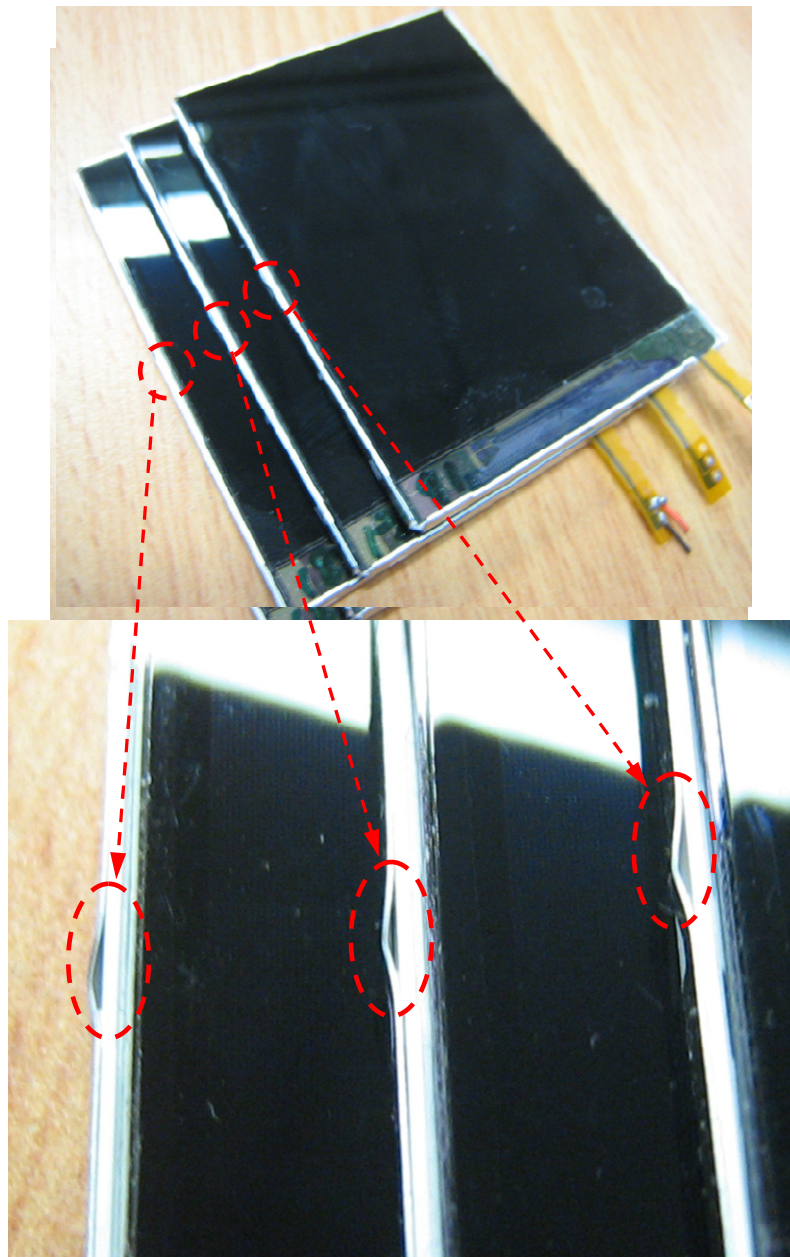


圖 4-3、金屬件與膠框於彎折測試時剝離情形

4-2-2 板金件深度的影響

板金件之深度也就是折邊高度，在第 3 章(3-1-2)我們有提到過，高度太高會造成折邊與模具干涉，太低則在射出成形時有溢膠情形；

經過實驗之結果，在折邊高度超出設計最大值時，於模具閉合再退開後，我們可以發現金屬件經合模力壓迫後在折邊破孔處發生了與上一節相同之情形(破孔處有變形及應力集中之情形)，測試結果也是一樣會有強度下降之情形；而高度低於設計最小值時，溢膠之情形及一直反覆上演，但是不影響模組強度，如圖 4-4 所示。

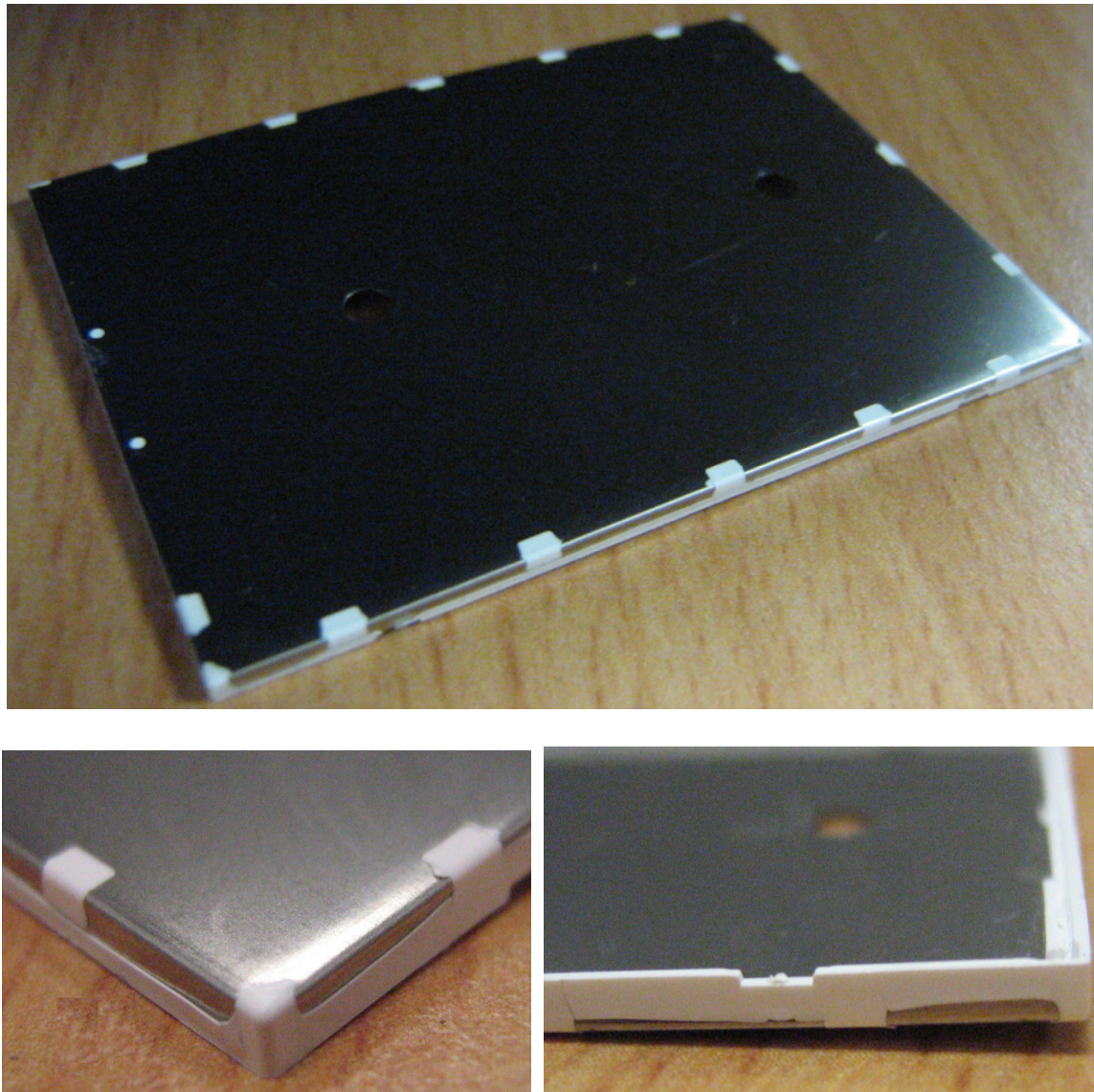


圖 4-4、折邊高度不足造成之溢膠情形

4-2-3 結合特徵尺寸及數目的影響

由表 4-1 之產品量測數據來看，目前產品之重點尺寸皆已在設計值及公差範圍內，但是因為外觀不良率幾乎是 100%(表 4-2)以再與供應商討論過後，在設計上做了以下幾點修改：

A、結合特徵尺寸及數目之修改：

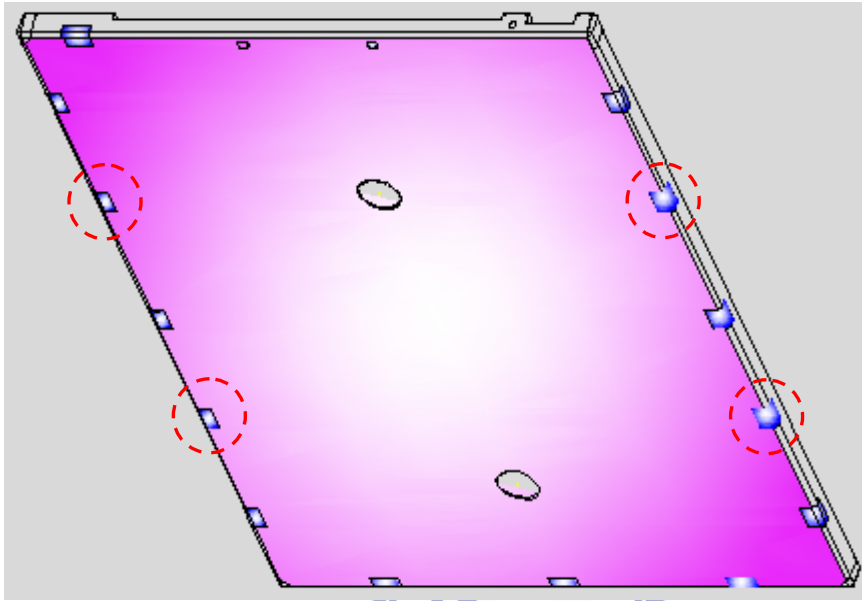


圖 4-5(a)、原始設計之結合特徵示意圖

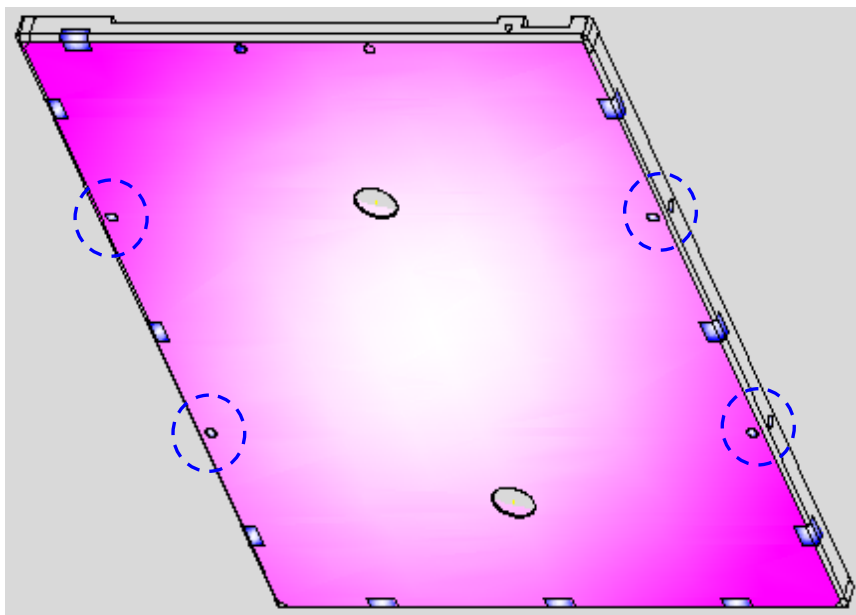


圖 4-5(b)、修改後之結合特徵示意圖

修改結合特徵之結合方式主要為板金件在沖壓成形後，因折邊破孔過多會產生局部應力集中而有強度不均之問題，而使得板金件成形後，在同一側之折邊高度及角度值會有些許的變異，而造成合模時板金件與模具干涉問題，所以在降低變異之考量下，決定將4個原本的方形結合特徵(圖4-5(a))修改為8個 $\Phi 0.8\text{mm}$ 的圓孔(圖4-5(b))，雖然減少了金屬件與膠結合面積，但是因為提升了金屬件強度，間接也提升了模組強度。

4-2-4 頂出銷尺寸、數量及位置的影響

在實驗中，因當初設計之頂出銷尺寸太小，在將產品從模具中頂出時會造成局部被頂傷問題，所以修改頂出銷尺寸，從原本 $\Phi 2.5\text{mm}$ (圖4-6(a))修改為 $\Phi 4.0\text{mm}$ ，數量由10個變更為8個(圖4-6(b))，再將其位置擺放於結合特徵較大之處(方形結合處)，經過修改後原本之頂出痕異常情形即改善，如圖4-7(a、b)所示。

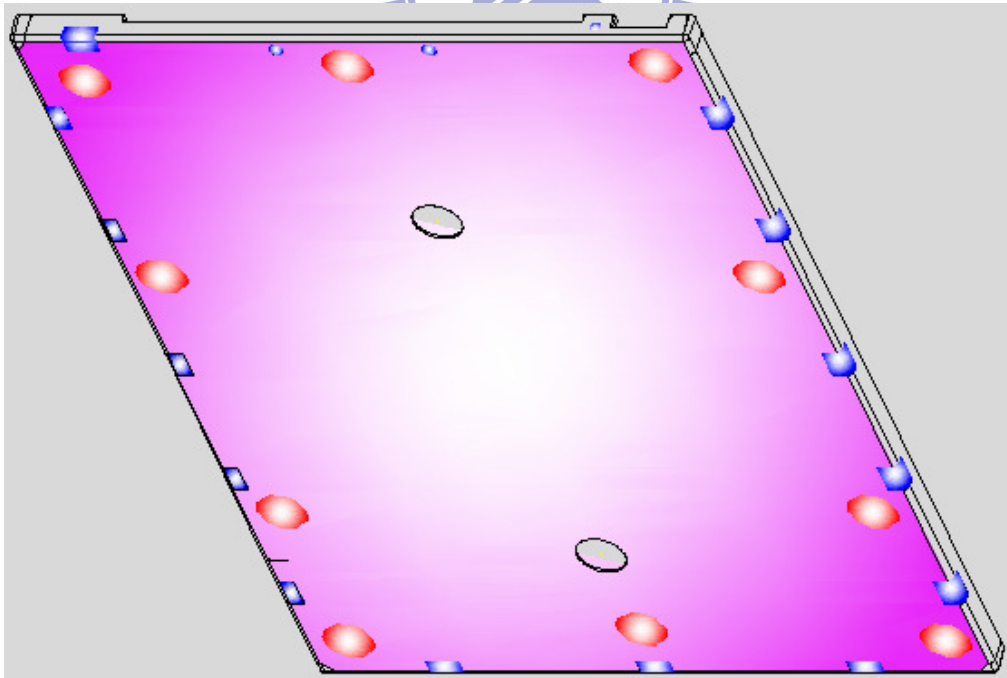


圖 4-6(a)、 原始頂出銷尺寸、數量及位置示意圖

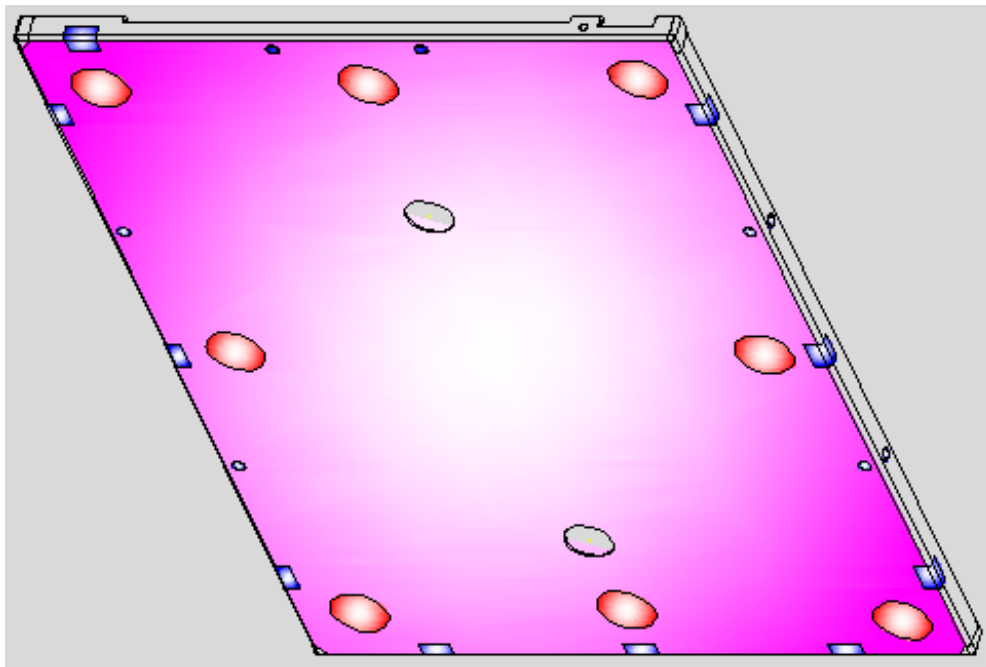


圖 4-5(b)、修改後之頂出銷尺寸、數量及位置示意圖

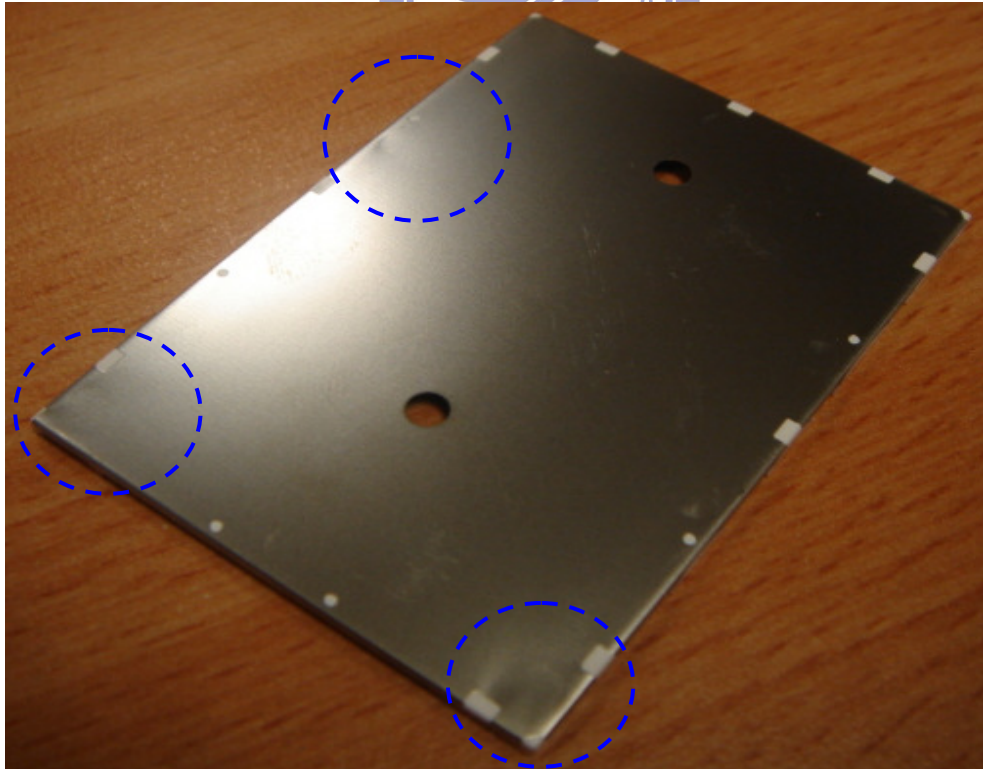


圖 4-7(a)、成品背面 (改善前)

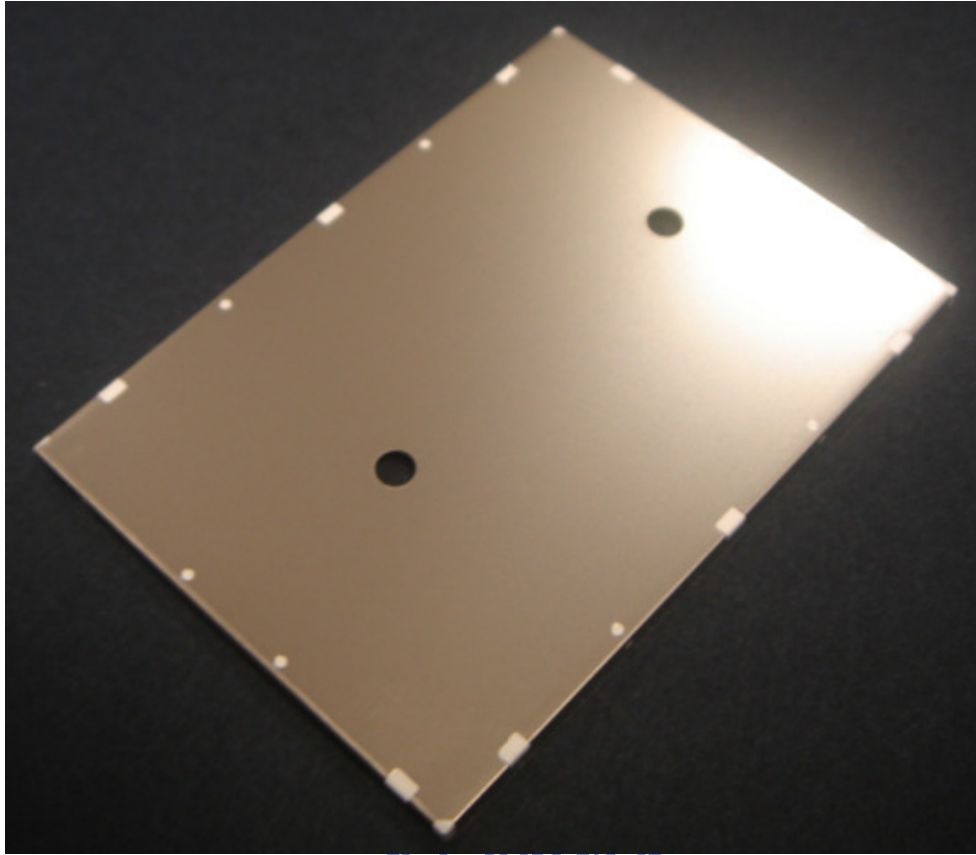


圖 4-6(b)、成品背面 (改善後)

由上面幾個影響因子的改善結果，我們可以得知，對於模組強度影響最大之因子為金屬件之成形狀況，其中包括了**折邊角度**和**結合特徵尺寸及數目**，折邊角度過大即會造成破孔處應力集中而影響金屬件強度及模組強度；結合特徵尺寸太大及數目太多也就是說板金件折彎邊沖孔之因素，造成其側邊強度銳減以及局部應力集中，進而造成板金件之成形品質，所以設計適當的折邊角度及結合特徵數目是直接可以改善模組強度的方法。

第五章 結論

5-1 結論

在之前的實驗中，我們可以知道影響模組強度最大的元素就是玻璃切裂品質；切裂品質之優劣也就是說完成切裂製程後玻璃邊緣是否有其他的缺陷，包括毛邊、缺口、引伸性裂痕...等等，而這些缺陷就會造成應力集中的現象，所以當外力施與其上時，玻璃就會從這些缺陷處開始破壞而致破裂，所以切裂品質越差，模組強度亦較弱，反之則較強，但是因為改善玻璃切裂品質目前已經無法完全達到客戶需求之強度，所以我們就需再從另外的元件中繼續做補強之動作，以達到客戶需求之強度，也就是我們研究埋入式射出成型之動機。

而經過一些模擬的結果我們得到使用埋入式射出成型之架構確實可以增加模組之強度，在此次研究及試驗中，使用埋入式射出成形之模組架構比傳統式組裝之模組架構提升約 20% 的強度(見表 5-1)，而且使用這種架構更可以減少模組組裝之時間及一些組裝時常見之問題，在成本上更是另一種受益；在研究中，我們也得到一些寶貴的經驗及設計概念，而這些經驗不但可以增加個人之實務經驗，日後亦可以再讓這些技術有更大的突破。

結構	破裂強度(MPa)	比率(%)
傳統式模組架構-1 (面板+軟性電路板+背光模組)	165	100%
傳統式模組架構-2 (面板+軟性電路板+背光+下鐵殼)	191	116%
埋入式射出成形 (面板+軟性電路板+背光+下鐵殼)	230	139%

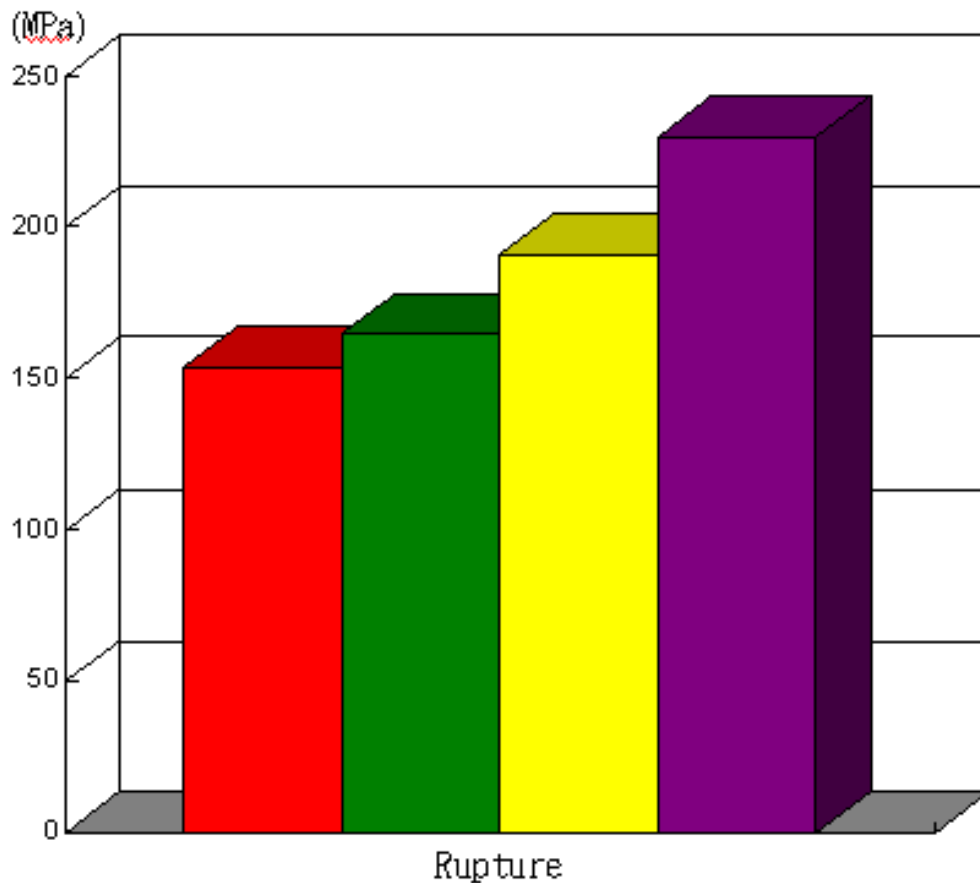


表 5-1、各類架構之模組彎折強度比較表



5-2 未來的發展

未來之研究目標將以第一階段得知之結構設計並加以局部之修改，包括第三章所提到的五個影響因子(金屬件之外型特徵、結合特徵尺寸與數目，以及頂出銷之設計等等)，或是在使用之材料上做變化，使用較高楊式係數(Young's Modulus)之材料藉以提升強度，例如將不鏽鋼板材料由 S304 1/2H 換成 S304 3/4H 等等；另外還可將金屬件之材料厚度由 0.15mm 改為 0.2mm 等，以及在金屬件上作細微之設計變更，例如雙摺邊(Hamming)(圖 5-1 所示)之設計等等，已期達到比第一階段更佳之模組強度(Rupture stress)增益(圖 5-2 所示)。

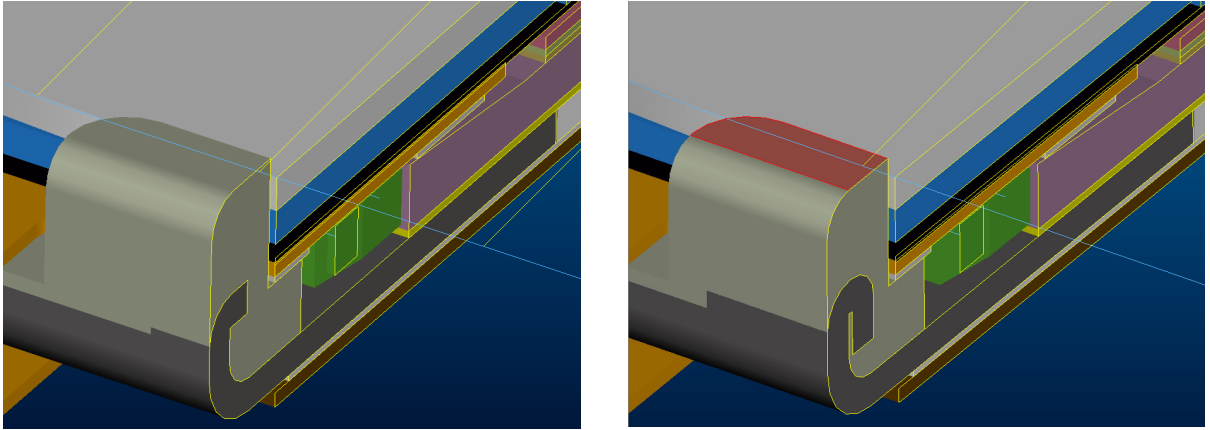


圖 5-1、兩種鐵框雙折邊設計示意

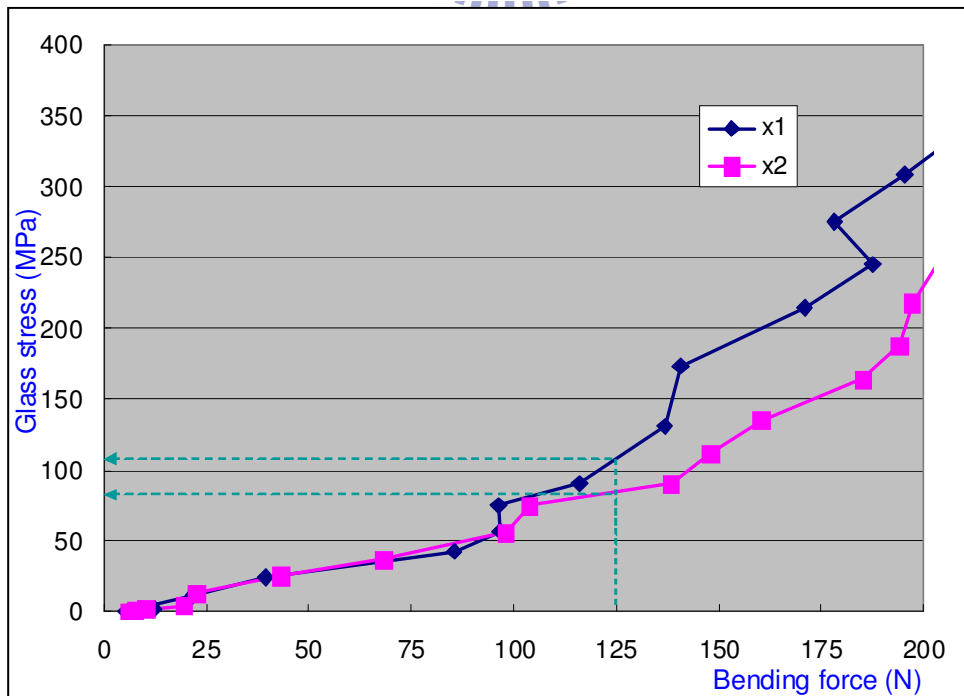
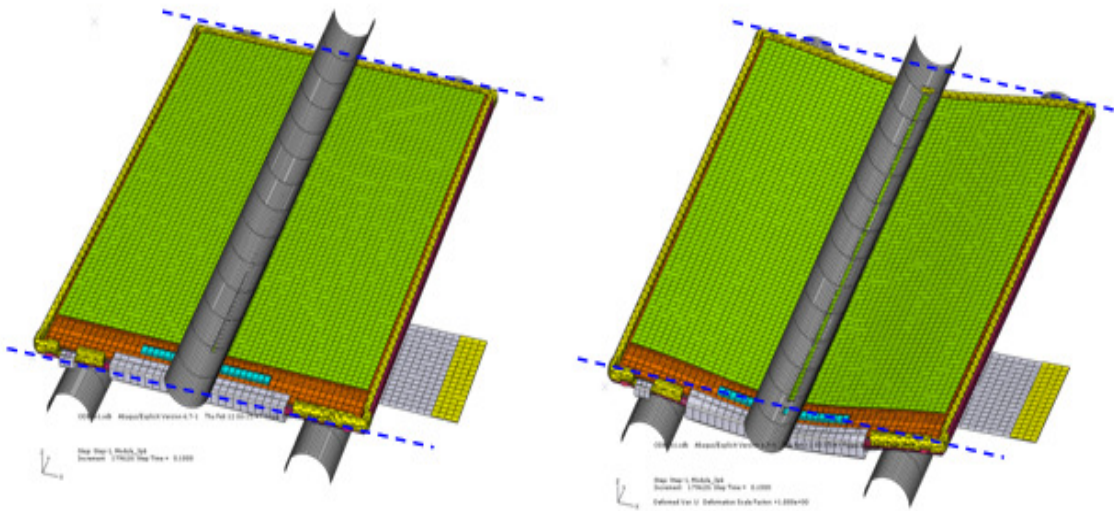


圖 5-2、三點彎折測試模擬及強度比較圖

參考文獻

- [1] 朱紹鎔、蘇金佳譯，材料力學上冊，東華書局,1990。
- [2] 劉展，”ABAQUS 6.6 基礎教程與實例詳解”，北京萬水電子訊息有限公司,2008.02。
- [3] 張志坤，“LCD 模組膠框強度設計於衝擊測試之有限元素分析“，奇美電子股份有限公司，MSC 台灣「虛擬產品研發」技術論壇，2004。
- [4] 藍俊傑，“平面顯示器結構強化的最佳化“，國立雲林科技大學機械工程系碩士班，碩士論文，2003。
- [5] 南寧漢、黃智傑，“摺疊式行動電話 LCD 模組於落下測試之有限元素分析“，MSC 台灣「虛擬產品研發」發表論壇，2004。
- [6] 林茂興，TFT LCD 模組導光板衝擊強度之有限元素分析，奇美電子股份有限公司，MSC 台灣「虛擬產品研發」技術論壇，2005。
- [7] 黃永立，TFT-LCD 前框卡勾設計之衝擊模擬分析與驗證研究，國立中央大學博碩士論文，2006。
- [8] 陳建翔、李金二、蘇健忠、張簡志偉，“TFT LCD 模組結構強度設計之有限元素分析“，國立交通大學，期末報告，2006。
- [9] 黃崇忠，背光模組外殼材質最佳化，逢甲大學碩士論文，2007。
- [10] 章秀鑫，"TFT-LCD 模組設計概論,"，全華科技圖書，2002。
- [11] 小栗富士雄、小栗達男、張兆豐，”機械設計圖表便覽”，臺隆書局，1997.04.20 改新增補 2 版九版發行。
- [12] 林信陸編輯，“塑膠射出成型”，機械技術出版社，1990。
- [13] 陶氏化學股份有限公司，塑膠材料物性分析報告，2005。
- [14] Bird, R. B. Armstrong, R. C. and Hassager, O.(1987) Dynamics of Polymeric Liquids, Volume 1, Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, New York, USA。
- [15] 劉士榮，”高分子流變學”，滄海書局，2005。

- [16] 江體乾，”化工流變學”，華東理工大學出版社，上海，2004。
- [17] 張文華，塑膠模具設計製圖實物，全華科技圖書有限公司。
- [18] E.Lindner, and P.Unger, “Injection Molds 108 Proven Design”, 1993。
- [19] 洪瑞庭，”塑膠加工技術與工程”，高立圖書有限公司，1987。
- [20] 游正晃，”塑膠機與塑膠模具”，三民出版股份有限公司，1982。
- [21] 林信陸編輯，”塑膠射出成型”，機械技術出版社，1990。
- [22] Kou, S. (1996) ”Transport phenomena and Materials processing”, John Wiley, New York, USA。
- [23] 劉偉源，”結構體的有限元素法”，1992，國立編譯館，臺北市。
- [24] 沈興義、黃昱智，”PDA 之落摔測試有限元素分析”，宏達國際股份有限公司，MSC 台灣「虛擬產品研發」技術論壇，2004。
- [25] 王玉仙，”TFT-LCD 導光板衝擊模擬分析及驗證研究”，國立中央大學碩博士論文，2007。
- [26] 陳君明，” TFT-LCD 衝擊模擬分析及驗證研究”，國立中央大學碩博士論文，2003。
- [27] 陳伯群，”TFT-LCD 掉落模擬分析及驗證研究”，國立中央大學碩博士論文，2002。
- [28] 張貴琳，”薄型化液晶顯示器模組之強化結構”，國立中興大學碩博士論文，2007。
- [29] 江毅成，”筆記型電腦 TFT-LCD 模組衝擊及落下模擬分析及驗證”，中國文化大學機械工程學系，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- [30] 曾義晃，”導光板模具及製程參數設計之研究”，私立大華技術學院碩士論文，2006。
- [31] 林鈺婉，”高分子微流道流變行為之研究”，私立中原大學機械系，國科會計畫研究報告，2002。

- [32] 范振墉，”液晶高分子射出成型機械性質之探討”，私立清雲科技大學機械系，國科會計畫研究報告，2002。
- [33] 張金錄，”高深寬比射出成形之技術研究”，國立雲林科技大學碩博士論文，1999。
- [34] 黃勝田，”雙面微結構超薄件微射出成型之實驗探討”，國立台灣大學碩博士論文，2004。
- [35] 葉清民，”精密塑膠射出成型最佳參數之數學理論”，國立高雄應用科技大學碩士論文，2005。
- [36] 陳世豪，”嵌入式射出成型對殘留應力與縫合線之影響”，私立大葉大學機械工程系碩士論文，2004。
- [37] 鍾文仁，”射出專家系統”，私立中原大學機械工程研究所碩士論文，1995。
- [38] 曹丙丁，”塑膠射出成型品收縮與翹曲變形之整合性理論研究”，國立清華大學化學工程碩士論文，1993。
- [39] 林育星，”塑膠模流特性對射出成型品流動長度及殘留應力之研究”，國立雲林科技大學機械工程系碩士論文，1994。
- [40] 李信億，”利用射出成型黏結高分子塑膠及金屬材料之機械性質研究”，私立龍華科技大學機械工程系碩士論文，2007。
- [41] 姜林靜惠，”CAE 模流分析在嵌入式模具上之應用”，私立元智大學機械工程學系碩士論文，2005。