



國立台灣科技大學

機械工程系

碩士學位論文

學號：M9103924

雙面微溝槽之薄件射出成形研究
Study on Injection Molding of Thin Plate with
Double-Side Micro Grooves



研 究 生：陳永坤

指導教授：陳炤彰 博士

中華民國九十四年六月二十日

碩士學位論文指導教授推薦書

本校 機械工程 系(所) 製造組 學程 陳永坤 君

所提之論文 雙面微溝槽之薄片射出成形研究

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 陳昭勳

94年6月20日

碩士學位考試委員會審定書

本校 機械工程系(所) 製造組 學程 陳永坤 君
所提論文 雙面微溝槽之薄片射出成形研究
經本委員會審定通過，特此證明。

學位考試委員會

委

員：

楊申語

陳恩宗

陳昭勳

指導教授：

陳昭勳

學程主任：

系主任(所長)：

黃榮芳

中華民國 94 年 6 月 20 日

誌謝

本論文得以完成是來自眾人的支持與合作，因此，首先要感謝我的指導老師陳炤彰教授，老師這三年來的諄諄教誨，著實讓我獲益良多，不管在學問知識領域裡或實驗技術上都給予我偌大的幫助。另外，在論文指導過程中，還要感謝楊申語老師、陳恩宗老師在論文上的指導與建議，在此向老師們致上最深的敬意。

在實驗方面，感謝緯昇公司王德銘經理對於模具製作的幫忙；射出成形部分感謝趙城公司趙有吉先生；感謝工研院光電所鄭文泓先生代為模仁加工；也特別感謝中原大學曾家彥同學協助量測，讓實驗得以順利完成，在此致上最深的謝意。

在實驗室裡，旭麒、俊毅、昭宏、淑玲、建銘、智榮、瑋晟、致宇、志青、厲生等同窗好友與我一起切磋、相互砥礪。所謂：「獨學而無友，則孤陋寡聞。」有了他們，讓學校生活顯得充實愉快。另外，感謝公司同事絲彤、鈞博幫忙分擔公務，讓我無後顧之憂地創作論文。

最後，由衷地感謝遠在台南的家人，及陪伴我一路走來的內人怡芳，感謝他們長久以來不斷地給予我精神上的支持與關心，得以在工作多年後，再度完成學業的另一階段。

陳永坤 2005/6 精密製造實驗室

中文摘要

本研究主要目的在探討雙面V型微溝槽射出成形之轉寫性，即微溝槽成形率的影響。本研究先進行模流分析部分，分別對單面微溝槽，雙面平行微溝槽及雙面垂直微溝槽進行充填分析，然後對單面微溝槽進行操作視窗探討，再配合田口法，探討雙面平行微溝槽之射出參數對微溝槽成形率的影響，最後進行雙面垂直微溝槽之實驗探討。實驗結果發現(1)模溫為影響微溝槽成形的最主要參數，射速為次要參數，(2)在雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽的短射實驗比較中，皆發現有兩側波前超越中間波前的情況，(3)在雙面平行微溝槽最佳化參數確認實驗中，變異數分析的微溝槽成形率(Transfer Ratio of Groove, TRG)預測值與實際值誤差僅為0.28%及(4)可利用微溝槽方向與流動波前方向間的斜向角 ψ 之 $\cos \psi$ ，來判斷微溝槽在充填過程中之容易程度。由研究結果顯示微溝槽成形率主要影響因素為模溫，而不同位置的微溝槽成形率會因射速的不同而有差異，因此本研究成果未來可應用於雙面微結構之導光板等產品模造技術。

關鍵字：雙面微結構，微射出成形，V型溝槽，模造製程，導光板

ABSTRACT

This research is to investigate the filling effects or pattern transfer on molding replication of thin part with double-side V micro grooves by injection molding. Moldflow analysis has been implemented to simulate the filling process of single-side micro grooves, double-side parallel micro grooves (DPMG) and double-side orthogonal micro grooves (DOMG). Experimental study has been proceeded to find the operation window of injection molding of single-side micro grooves. Then the Taguchi's method is used as design of experiments to find the significant injection parameters and to obtain the optimal settings for filling rate of DPMGs. Final experiment is to implement the injection molding of thin plate with DOMGs. Results have shown that: (1) mold temperature is the most significant factor for filling rate of micro grooves and injection speed is the second one; (2) side-edge flow fronts are always over the central flow front either in DPMGs or DOMGs during short-shot experiments; (3) the error of transfer ratio of groove (TRG) is only 0.28% of experimental value compared with the calculated value by the optimal settings of injection parameters from design of experiments of DPMGs, and (4) the cosine value of oblique angle (ψ) between the direction of flow front and micro groove can be used to justify the feasibility of filling of micro grooves. Therefore, results of this research can be explored to thin plate with double-side micro features, such as light guide plate (LGP) in backlight module of liquid crystal display (LCD) panels.

Keyword: Double-side micro grooves, Micro injection molding, V-grooves, Light guide plate.

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XII
符號表.....	XIII
第一章 導論	
1.1 前言	1
1.2 微溝槽結構於液晶顯示器產業之應用	2
1.3 研究目的	3
1.4 相關文獻回顧	3
1.5 研究方法	8
1.6 章節介紹	9
第二章 微溝槽之設計與模流分析	
2.1 微溝槽之參數化	14
2.2 微溝槽之設計	15
2.3 微溝槽之方向定義與成品設計	15

2.4 微溝槽之模流分析	16
--------------------	----

第三章 實驗設備

3.1 模具設計	29
3.1.1 模仁入子設計與加工	29
3.1.2 頂出裝置	30
3.1.3 冷卻水路設計	30
3.2 全電式射出成形機	31
3.3 模溫機	31
3.4 烘料機	31
3.5 量測儀器	31
3.6 塑膠材料	32



第四章 實驗設計規劃

4.1 微溝槽轉寫性定義	49
4.2 微溝槽量測點位置	50
4.3 實驗準備及量測取樣	50
4.4 實驗參數設定	50
4.4.1 模溫與塑料融溫	51
4.4.2 射出速度與射出壓力	51
4.4.3 保壓壓力與保壓時間	51

4.4.4 冷卻時間.....	52
4.5 田口實驗設計法.....	52
4.6 變異數分析.....	54
第五章 實驗結果與討論	
5.1 模流分析與短射實驗比較.....	61
5.2 單面微溝槽之成型操作窗結果討論.....	62
5.3 雙面平行微溝槽之轉寫性結果討論.....	62
5.3.1 應用田口法於微溝槽轉寫性之最佳化.....	63
5.3.2 射速對微溝槽轉寫性.....	67
5.4 雙面垂直微溝槽之轉寫性討論.....	67
5.5 微溝槽成形率與流動波前方向之討論.....	68
第六章 結論和未來研究方向	
6.1 結論.....	86
6.2 未來研究方向.....	87
參考文獻.....	89
附錄 A 微溝槽幾何模型之參數化公式推導與證明.....	92
附錄 B 模具結構圖.....	98
附錄 C 曲面加工機(ULG-100).....	99
附錄 D TOSHIBA EC60N-1.5Y全電式射出機.....	100

附錄 E	VK8550	101
附錄 F	Röhm Gmbh PLEXIGLAS 8N (PMMA).....	102
附錄 G	<i>F</i> ratio Values (90% confidence)	104



圖 目 錄

圖 1-1	背光模組結構圖	11
圖 1-2	導光板光學作用示意圖	11
圖 1-3	V-cut 圖.....	12
圖 2-1	微溝槽之各尺寸參數位置	18
圖 2-2	增光片(Brightness Enhancement Film)工作原理	18
圖 2-3	增光片之光學元件特徵尺寸圖	19
圖 2-4	微溝槽參數化尺寸幾何示意圖	19
圖 2-5	成品微溝槽圖	20
圖 2-6	微溝槽方向定義圖	20
圖 2-7	三種微溝槽形式成品圖	21
圖 2-8	Moldflow分析流程圖	22
圖 2-9	2D網格圖	23
圖 2-10	2D網格相關參數圖	23
圖 2-11	3D網格圖.....	24
圖 2-12	3D網格相關參數圖	24
圖 2-13	Moldflow射出參數設定圖	25
圖 3-1	TOSHIBA ULG-100H3 曲面加工機.....	33
圖 3-2	可動側入子圖	34

圖 3-3	固定側入子圖	35
圖 3-4	模仁入子微溝槽 3D量測圖	36
圖 3-5	可動側入子第一段微溝槽尺寸圖	37
圖 3-6	可動側入子第二段微溝槽尺寸圖	38
圖 3-7	可動側入子第三段微溝槽尺寸圖	39
圖 3-8	固定側入子第一段微溝槽尺寸圖	40
圖 3-9	固定側入子第二段微溝槽尺寸圖	41
圖 3-10	固定側入子第三段微溝槽尺寸圖	42
圖 3-11	固定側微溝槽量測尺寸分佈圖	43
圖 3-12	可動側微溝槽量測尺寸分佈圖	43
圖 3-13	頂出位置圖	44
圖 3-14	可動側模仁冷卻水路圖	44
圖 3-15	固定側模仁冷卻水路圖	45
圖 3-16	TOSHIBA EC60N-1.5Y 全電式射出機	45
圖 3-17	顯昌TH-2001 模溫機	46
圖 3-18	信易牌烘料機	46
圖 3-19	KEYENCE VK8550 雷射共軛焦顯微鏡.....	47
圖 3-20	Röhm Gmbh PLEXIGLAS 8N (PMMA).....	47
圖 4-1	實驗設計流程圖	57

圖 4-2	微溝槽成形率示意圖	58
圖 4-3	雙面平行微溝槽量測點圖	58
圖 4-4	雙面垂直微溝槽量測點圖	59
圖 4-5	單面微溝槽成型操作窗	59
圖 4-6	微溝槽成形率魚骨圖	60
圖 5-1	最佳化參數 P-T 示意圖	70
圖 5-2	單面平行微溝槽的短射與模流分析比較	71
圖 5-3	雙面平行微溝槽的短射與模流分析比較	72
圖 5-4	雙面垂直微溝槽的短射與模流分析比較	73
圖 5-5	進澆口左右兩側膠料流動速度圖	74
圖 5-6	膠料於進澆點流動速度變化圖	74
圖 5-7	第三段微溝槽(f_3)3D量測圖	75
圖 5-8	S/N 反應圖	75
圖 5-9	雙面平行微溝槽充填成形示意圖	76
圖 5-10	射速對微溝槽成形率關係圖	76
圖 5-11	雙面垂直微溝槽充填成形示意圖	77
圖 5-12	垂直微溝槽之各點成形率	77
圖 5-13	平行與垂直方向微溝槽成形率比較圖	78
圖 5-14	垂直型式與平行型式之微溝槽成形率比較圖	78

圖 5-15	溝槽與進澆點距離對射速的比較圖	79
圖 5-16	射速對左右兩側及中間微溝槽成形率比較圖	79
圖 5-17	垂直微溝槽與平行微溝槽 OM 圖(1000X).....	80
圖 5-18	垂直微溝槽(m_3)射速 80mm/s 之 3D 量測圖	80
圖 5-19	垂直微溝槽(m_3)射速 90mm/s 之 3D 量測圖	81
圖 5-20	垂直微溝槽(m_3)射速 100mm/s 之 3D 量測圖	81
圖 5-21	平行微溝槽與流動波前之斜向角示意圖	82
圖 5-22	垂直微溝槽與流動波前之斜向角示意圖	82



表 目 錄

表 1-1	複合化導光板設計	12
表 1-2	成形製程與成形參數關係表	13
表 2-1	參數化微溝槽尺寸幾何模型代號	25
表 2-2	微溝槽參數運用表示	26
表 2-3	微溝槽尺寸參數表	28
表 3-1	入子微溝槽尺寸表	48
表 4-1	因子水準配置表	60
表 4-2	實驗直交表 $L_9(3^4)$	60
表 5-1	雙面平行微溝槽之最佳參數設定表	70
表 5-2	單面平行微溝槽之操作視窗參數設定表	83
表 5-3	各組尺寸量測值及微溝槽成形率(TRG)	83
表 5-4	各組 S/N 值	84
表 5-5	各因子 S/N 反應表	84
表 5-6	第一次統合誤差	84
表 5-7	第二次統合誤差	85
表 5-8	最佳化參數實驗結果量測表(A3B3C2D3)	85

符 號 表

A	微溝槽之寬度
B	第一圓弧與第二圓弧之水平距離
C	第一圓弧中心點到平板底部之垂直距離
CI	信心區間值
D	第二圓弧中心點到平板底部之垂直距離
F	固定邊到溝槽起點的距離
F_{test}	變異比
f	因子自由度
h	微溝槽充填之最大深度
H	模仁入子加工之溝槽深度
m	每一水準的實驗次數
P	因子的貢獻率
p	因子具有的水準數
R_1	第一圓弧之半徑
R_2	第二圓弧之半徑
SS_A	各因子的變動率
SS_T	全變動值
T	平板厚度
TRG	溝槽成形率
V	因子的變動率
Y_i	田口法中第 i 個品質特性
Y_f	最佳參數組合各因子之分析數據

Y_{opt}	最佳參數組合之分析數據預測值
$\bar{Y}$	所有分析數據的總平均值
θ	平板底部與溝槽交接邊之角度
ϕ	通過微溝槽最低點之線段與水平軸之夾角
Ψ	微溝槽方向與流動波前方向間之斜向角



第一章 導論

1.1 前言

近年來由於科技的進步，人類對於資訊的需求與日俱增，眾人皆希望能夠在最短時間及任何地方可以方便獲得所需的資料，因此，帶動微形化產品需求的增加。藉由研發及生產技術的快速發展，資訊電子、生物醫學、測量等領域無不朝向微小精密化發展，如 DVD、液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)、光纖連結器、光學鏡片及生醫晶片等產品。至於用於微小化的精密製程加工技術則有微射出成形、微衝壓、鑽石車削、微銑削、微轉印、準分子雷射加工、微機電系統(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)製程等等。

在眾多材料中，塑膠具質量輕、易加工且絕緣、耐腐蝕的特性而得以在人們的生活與工作中被大量運用。而微射出成形工法因其成品基材為塑膠且以模具為複製基礎，所以，可易於達到產品特徵複製的量產化，及降低生產成本，使產品快速普及。

由於微小化結構及薄形化的塑膠產品日漸增加，傳統的射出成形已無法達到需求，而衍生出微射出成形。相較於以往的傳統射出成形，在薄件微射出成形中，薄件的成形品質與其上的微小結構轉寫情況將會更加複雜，所以成形參數的控制及模具的設計已成為微射出成形的重要關鍵技術。

1.2 微溝槽結構於液晶顯示器產業之應用

隨著液晶顯示器的技術快速發展，品質不斷精進，價格持續下滑，使得液晶顯示器的應用逐漸普遍。由於液晶為非發光性的顯示裝置，需借助背光板才能達到顯示的功能，背光板性能的好壞除了會直接影響液晶顯像品質外，更由於背光板的成本佔液晶模組極大比例，且為模組主要電力消耗裝置，可說是液晶模組中之關鍵零組件。因此高精細、大尺寸的液晶面板，必須有高性能的背光技術與之配合。當液晶顯示器產業努力開拓新應用領域的同時，高性能的背光技術亦將是發展重點。

導光板(Light Guide Plate, LGP)為目前背光模組中的零組件之一，其即是以光學級塑膠為基材，於其上建立微細結構以達到光線折射與全反射的目的。目前一般背光模組結構如圖 1-1 所示，而其中導光板的光反射元件其光學作用如圖 1-2 所示。

目前導光板的趨勢是採用一體化的設計，將擴散點、稜鏡片等的功能全部製作整合到導光板之中【2】，如表 1.1 所示：(1)是加工導光板的正面，使其具有稜鏡片的功能；(2)是除了將稜鏡片一體化之外，在製作導光板時同時將擴散點一體成形，省去網版印刷的手續；(3)是在導光板上、下兩面均做稜鏡片的加工，底面的稜鏡間距由疏到密，頂角的設計則讓光向上折射，因此光能均勻地自導光板表面射出，且具有適當程度的方向性，提高正面亮度。稜鏡片其表面特徵形狀如圖 1-3 所示。

將導光板設計成複合化方式的雙面微結構，可減少需要外購的零件(如稜鏡片)，並且可縮短組裝時間，同時亦可達到高亮度化及降低成本的目的。

1.3 研究目的

本研究目的為建立一含雙面 V 型平行及垂直微溝槽結構之薄件成品，探討建構於薄件的雙面微溝槽在射出成形時，其特徵尺寸的轉寫狀況，並且應用田口法尋求最佳化參數及探討射出成形時設定參數對雙面微溝槽成形性之影響。



1.4 相關文獻回顧

相關射出成形參數對成形性，翹曲，收縮及殘留應力的參考文獻中與微結構轉寫與射出成形成品部分相關之內容為主，整理如下：

1989年

Hagmann和Ehrfeld【3】射出成形中塑料除濕和模穴抽真對精密射出中，可避免水氣和氣體的影響使成形。Losh【4】在實驗中以多種不同的厚度成品作射出，發現尺寸小的所需使用的壓力較大。

1997 年

Larsson【5】運用LIGA的方式去複製光波導的3D結構，發現翻製的Ni模仁精度高，且在V形波導複製成形高，但在尖端無法成形。

1998 年

Masaki 【6】運用CD片射出，發現降低在流動時的凝固可增加結構成形高度。Kukla 【7】對微射出成形的機械設計、模具設計、成品品質檢查提出方法並對微射出成形提出定義。Eberl 【8】對微射出成形做定義，並提出減少模具重量將可減少製程時間。Heckele 【9】在PMMA基板上製作各種用途之光學微結構，例如微透鏡、導波管等，並且探討其光學品質與成形精度之關係。

1999 年

施垂延 【10】探討各式射出成形參數對成品品質影響，其中模溫 and 保壓較為有用。

2000 年

Becker 【11】利用PMMA與PC材料製作不同深寬比之塑膠微結構，其深寬比最高可達7。沈永康 【12】運用模流分析軟體 (MoldFlow)，進行光纖連結器元件各項微射出成形模擬，發現模溫對微射出的影響最明顯。Alessandro【13】運用1.2 mm Si wafer作master以運用射出方式成形V型結構，發現當加高模溫到接近玻璃轉換溫度時對微結構的成形較佳。廖俊郎 【14】利用ANSYS模擬分析翹曲變形，並將實驗值與模擬數據作分析比較，發現由於壓縮過程提供較平均之模內壓力，可降低不均勻收縮及殘留應力，使成形品平坦性較佳，使得微射出壓縮成型遠較射出成型之收縮翹曲量小，而適當的脫模斜度亦可減少殘留應力及翹曲量。而在模仁表面粗糙度對於微射出成型技術微間隙模流的影響中發現，當微間隙小於0.2mm以下，模仁表面粗糙度對最大流動長度有極明顯的影響，中心線平均粗糙度愈

高，流動長度越短。

2001 年

Yan 【15】利用壓電材料來達到射出壓縮成形，製作V型溝槽微結構，並探討保壓力與模溫的轉印性問題。粘世智【16】在射出壓縮於精密塑膠零件成形應用中，發現以射出壓縮製作鏡片可以使成品收縮性減小。陳宗平【17】探討微結構的轉寫能力中發現較高模溫有助於減少分子定向與內應力及增加PMMA上微結構的轉寫性，可得較佳微結構成品表面。射出壓縮製程確實可提昇微結構轉寫能力。低融膠溫度及高模具溫度製程可提昇微結構轉寫性能。

2002 年

蘇義豐【18】在射出壓縮成形於導光板之製程分析中發現以相同的參數組合同時作射出與射壓成形實驗，射壓成形因模穴之增大開模空間，致使模穴壓力降低所以成形壓力小，因此成品的殘留應力情況較佳。但在成形方面所反應的收縮量與翹曲量，則射出成形比射壓成形小。需再就射壓成型中的壓縮起始時間、壓縮速度等加入參數控制以改善射出品質。陳皇昌【19】以直徑5mm圓形薄板上圓形微小溝槽討論微射出在急冷卻中影響研究中，得到射壓、塑溫和模溫中，得到模溫影響較其兩者來的大，而冷卻愈快其收縮量最小。林昆燁【20】在射出壓縮成形於楔型導光板之研究發現，適當的外加壓縮壓力，將可有效的減低殘留應力的產生。但若是外加的壓縮應力過大，反而會造成成品的分子定向增加，對於成品之品質有所不良影響。蔡森章【21】在微結構的複寫性研究上，射出壓縮成形之複寫率（93.7%~98%）較射出成形（89.5%~94.2%）佳。且發現射出成形在微結構的貢

獻度最大因子為射出壓力，射出壓力越大微結構的複寫性越佳。而射出壓縮成形在微結構的貢獻度最大因子為壓縮速度，壓縮速度越大，微結構的複寫性越佳。

2003 年

林志鋒【22】運用 Si 蝕刻模仁，探討 Si 基材運用於射出成形之可行性與 Si 基模仁在射出成形含微溝槽成品之轉寫性。陳仁浩【23】運用 Si 蝕刻模仁作光柵成品，發現較高的模溫與保壓壓力可使微結構轉寫性提升。吳偉裕【24】在導光板微結構的射出成形之研究中發現在較低的模具溫度、射出溫度、射出壓力及適當的保壓壓力及保壓時間有較佳的平面度，而太高模具溫度、射出溫度、射出壓力不足及過大過長的保壓壓力及保壓時間則使平面度品質變差。

2004 年

張宏榮【25】在微射出成形中影響平面度最重要的製程參數為射出溫度，而微射出壓縮成形的實驗中影響平面度最重要的製程參數為壓縮距離，兩種不同製程以微射出壓縮成形有較好的平面度。在兩種不同製程中，模具溫度皆為影響微結構高度與轉寫性最重要的製程參數。蔡俊欽【26】使用光學級聚碳酸脂(PC)的膠料以微射出成形完成長(56.1mm)、寬(45.75mm)、厚度由 2.3mm 漸縮至 0.9mm 之 2.5 吋的 V 溝型式導光板。在成形研究中發現 V 溝的尺寸特徵及導光板的翹曲是影響光學品質的主要原因。為維持 V 溝尺寸的精度，需要足夠的壓力，因若沒有足夠的熔膠作為壓力傳遞的空間，則光學特徵之幾何形狀收縮變形，將造成導致導光板光學輝度下降。因此利用較高的膠溫及模溫控制，配合精密射出成型機進行保壓壓力的多段精確控

制，使保壓階段的壓力傳遞能有效均勻地分佈於整個塑件，將是維持 V 溝特徵及提升光學輝度之最主要的關鍵。楊申語等人【27】設計一成品尺寸 5*5mm，單側為直徑 25 μ m、高 2.8 μ m 的微透鏡，另一側為寬 3 μ m、高 1 μ m 的微光柵，具雙面微結構之超薄件(30 μ m~500 μ m)成品，探討其在多模穴成形下射出參數的影響。發現當成品厚度越薄時，其上的微結構將產生極大的阻力，如同表面粗糙度增大，而使其成形所需的模溫跟射速要越高，且其成形操作窗亦越小。當成品厚度降至 60 μ m 以下時，另需使用變模溫系統，降低開模時溫度，以避免成品在頂出時產生變形，同時可減少成形時間。在微結構轉寫方面，其微透鏡結構的深寬比不大(約 0.11)，其轉寫複製皆容易。



綜觀以上文獻回顧部分，微結構的成形製程探討可分為微射出成形與射出壓縮成形兩大主軸，其成形參數與微特徵轉寫，成品平面度間的關係整理如表 1-2 所示。由此表可知，當使用高模溫成形時雖轉寫情況良好，但會造成成品平面度不佳的情況出現。而使用射出壓縮成形因其兩者主要影響參數不同所以可得到較佳成形製程。

在微結構的位置設計上，大都以單面微結構為探討主題，除楊等人【27】外，尚未在具雙面 V 型平行或垂直微結構的薄件成形時，就其雙面微結構轉寫情況與成形參數，進膠點距離間的關係作一探討，此為本論文所欲研究之目的。

1.5 研究方法

本節主要為介紹本研究之實驗方式及流程

(1) 雙面V型微結構模具之設計製作

本研究中主要探討含雙面微結構的薄件射出參數影響，所以設計一長20mm，寬20mm，厚度1.0mm的成品，其上下表面均具有V型微溝槽結構。在融熔膠料經由澆道擠入模穴時，會因模具本身表面溫度較低而在未充滿進入模穴時，即開始產生凝固層而造成微結構的成形不完全，此情況在薄件射出時將更明顯。所以模具設計上特別考量膠料在模穴中的流動性。此外，由於成品具雙面微溝槽，所以在頂出階段時，成品受力的均勻性亦為考量重點。



(2) 模仁入子加工製作

一般業界在加工微結構時，常以鎳基材為主要模仁加工材料，目前亦有以矽晶圓為模仁的研究。以上模仁組立時，皆另需鋼材為基底以固定之。在本研究中，將以熱傳導佳之材質為考慮重點。所以取鈹銅($k=103.8\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)為模仁入子基材，直接以鑽石車刀切削加工製作微溝槽，使模仁入子的加熱與冷卻皆能達到最佳效率。在微溝槽尺寸方面，則以稜鏡片微溝槽尺寸為參考基礎，設計一寬 $50\mu\text{m}$ ，頂角 120° 的V型微溝槽。為求出射出參數對結構轉寫性與進澆點位置之影響，所以建立三區段連續微溝槽，分別距離進澆點4mm、10mm及16mm，而每一區段含10條微溝槽，其間距(pitch)為 $50\mu\text{m}$ 。

(3) 模擬分析和實驗短射結果比較

在模擬分析部份，利用模流分析軟體 MPI 5.0 (Moldflow Plastic Insight 5.0)進行 3D 模流分析，將模擬分析與實際結果作一比對。

(4) 微溝槽成形之最佳參數

以單面微結構之實驗找出成品之成形操作窗以求得實驗參數，並利用田口法找出雙面平行微溝槽成形之最佳化參數。

(5) 性質的量測

利用共軛焦光學顯微鏡量測微溝槽的成形性。

(6) 射出參數的影響

從量測數據中，探討模溫，射速等參數對上下微溝槽成形性的影響程度。



1.6 章節介紹

在第一章的內容中，說明本文研究目的與方法，及微溝槽結構在液晶顯示器產業中導光板的未來設計與應用，並對微射出成形相關文獻作一回顧介紹。

在第二章的內容為設計一組參數式溝槽形狀，且可將目前常用的十種溝槽圖形表示出來，並就模流分析部份作一介紹。

第三章的內容為介紹實驗設備，如模具設計，射出成形設備及量

測儀器等。

第四章的內容是介紹實驗設計流程，射出參數取法及田口法。

第五章的內容將就實驗結果與分析模擬作一比較，並討論微溝槽的轉寫性。

第六章敘述實驗的結論與未來研究方向。



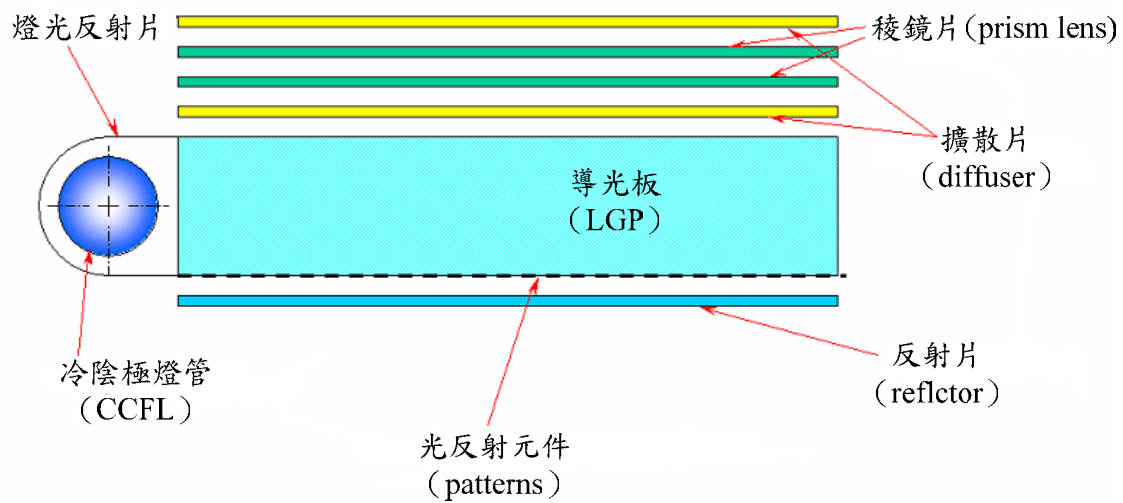


圖1-1 背光模組結構圖【1】

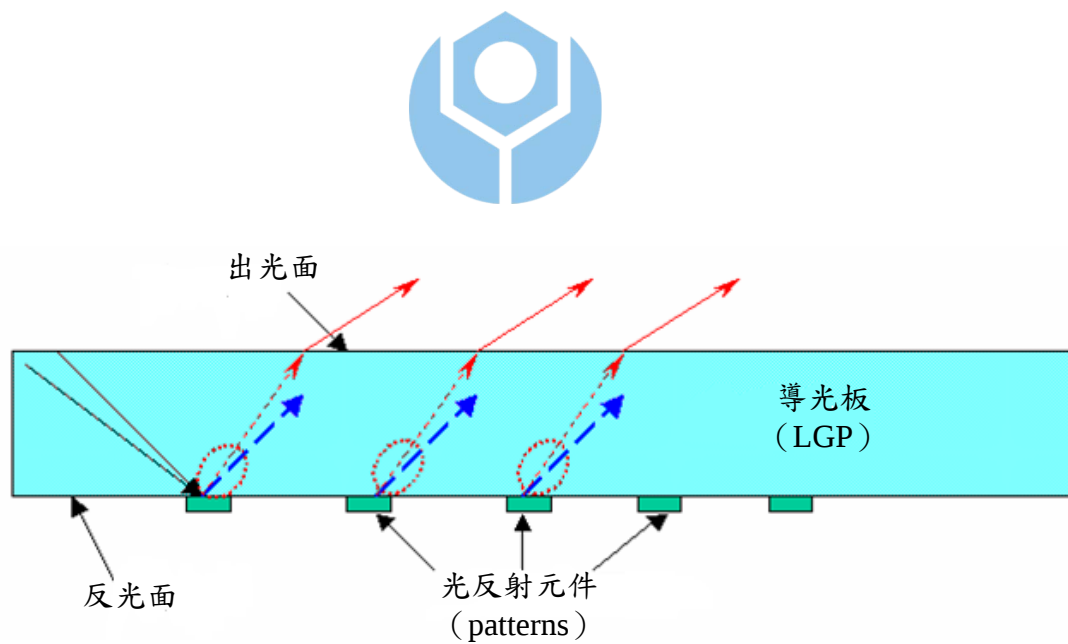
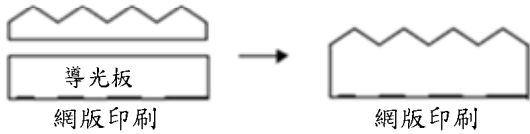
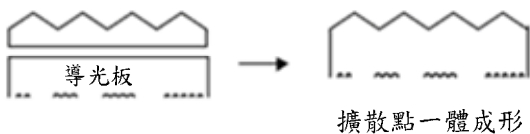
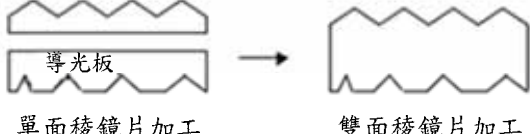


圖 1-2 導光板光學作用示意圖【1】

表1-1 複合化導光板設計【2】

構造	效果
(1) 稜鏡片  導光板 網版印刷	高亮度化 去除稜鏡片
(2) 稜鏡片  導光板 擴散點一體成形	高亮度化 去除稜鏡片 去除網版印刷
(3) 稜鏡片  導光板 單面稜鏡片加工	高亮度化 去除稜鏡片 去除網版印刷

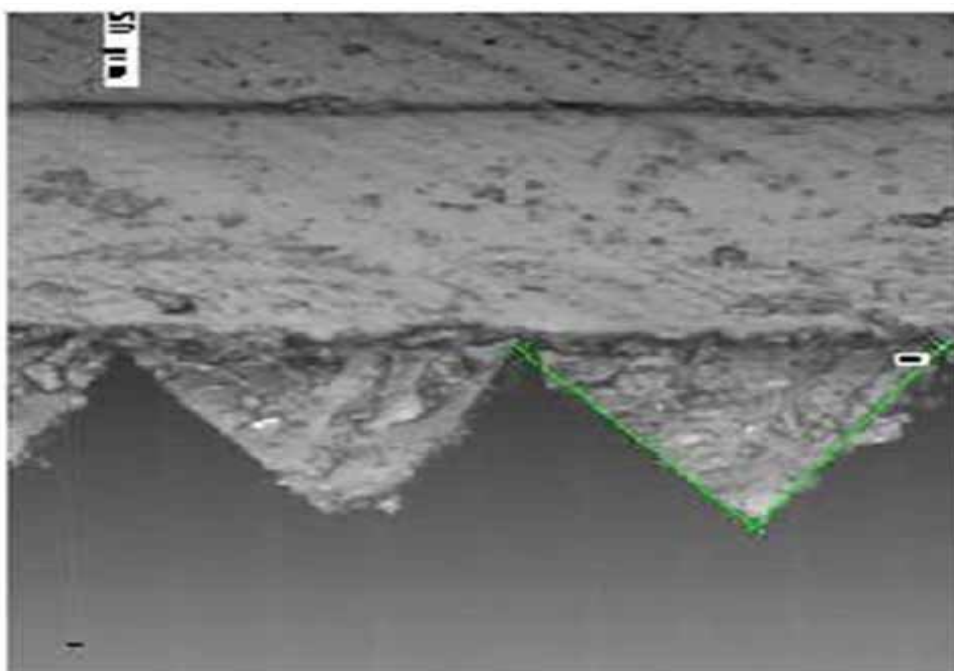


圖1-3 V-cut圖【1】

表 1-2 成形製程與成形參數關係表

	微結構轉寫	成品平面度
微射出成形	高模溫，高射壓，高保壓	低模溫，低保壓
射出壓縮成形	高模溫	壓縮距離



第二章 微溝槽之設計與模流分析

由於微溝槽因使用目的不同而有許多種形狀，而其加工法以蝕刻，鑽石車削和微放電加工等居多。因此本章節將設計一組參數化微溝槽幾何模型以利後續微溝槽的形狀設計並就模流分析部份作一介紹。

2.1 微溝槽之參數化

在本參數化研究中，關於參數的選用與規劃乃是以目前背光模組中的導光板及增光片(Brightness Enhancement Film, BEF)設計中的光學元件特徵尺寸為參考基礎並參考黃子健【28】“含微溝槽之矽模仁直接射出成形分析研究”之中所定義的12個微溝槽參數，簡化及設計一組參數式溝槽形狀，且可將其常用的十種溝槽圖形表示出來。表2-1為各參數代號(Geometric Model of Parameterized Micro Groove, GMPMG)。圖2-1為微溝槽圖形之各參數位置。

在背光板的光學設計中，最主要著重於光線的入射角，反射角及折射角等，期使入射光能夠按照所規劃的路徑導出。如圖2-2所示即為增光片(BEF)工作原理。而由圖2-3可看出目前光學元件特徵中，其主要特徵尺寸為深度、角度跟R角。所以本參數化微溝槽幾何模型中規劃9個參數來獲得各種不同的微溝槽形狀；圖2-1中，O點為設定的基準原點，且利用T值的正負變化而可得到凹或凸型式的溝槽特徵。利用此9個參數亦可得出目前背光模組的光學元件特徵以外的形狀，而可運用於如生物晶片及光纖用連結器等用途的微溝槽形狀。表2-2為運用先前9個參數加上長度

(L)、厚度(T)等為11個參數所表示的各種微溝槽設定值。相關微溝槽幾何模型之參數化公式推導與證明如附錄A所示。

2.2 微溝槽之設計

在本實驗中所設計的成品微溝槽尺寸為參考3M增光片的形狀尺寸，所以V型微溝槽的設計寬度為 $50\mu\text{m}$ ，頂角120度，深度 $14.43\mu\text{m}$ ，如表2-3所示為參數化尺寸，圖2-4為微溝槽參數化尺寸幾何圖，並分別建立三區段連續微溝槽，以求出射出參數對結構轉寫性與進澆點位置之影響，所以三段微溝槽分別距離進澆點4mm，10mm及16mm。而每一區段包含10條微溝槽，其間距(pitch)為 $50\mu\text{m}$ ，如圖2-5所示。



2.3 微溝槽之方向定義與成品設計

因本研究將分別針對單面平行微溝槽、雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽作模流分析與射出成形實驗，故須先定義溝槽方向以利後續討論。因流動波前在模穴中非具一定方向性，所以，為方便後續討論，微溝槽方向定義將以澆口基準線A為準，與線A平行者，稱之為平行微溝槽；與線A垂直者，稱之為垂直微溝槽，如圖2-6所示。

微溝槽成品設計分為三部份，其中包含單面平行微溝槽、雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽，其形狀如圖2-7所示。

2.4 微溝槽之模流分析

本研究利用 Moldflow 5.0 的 3D 模流分析分別針對單面平行微溝槽、雙面平行微溝槽及雙面垂直微溝槽等三種型式進行充填分析，以觀察膠料流動分佈情形。Moldflow 使用控制體積有限元素法來求解融膠於模穴內的流動，其所使用的 3D 分析網格為四面體元素。本小節將介紹模流分析的前處理與設定流程，如圖 2-8 所示。

(1) CAD 模型建立與 2D 網格建立

由於 Moldflow 中的 2D 網格建立功能有限，所以本研究利用 PRO/ENGINEER 軟體建立 CAD 3D 模型並利用 PRO/ENGINEER 中的 Mechanica 模組建立表面 2D 網格，其功能為可在微結構部份網格局部加密，且其網格尺寸變化為漸變式，如此可以避免網格展弦比(Aspect Ratio)變化過大的情況，一般皆將三角網格的展弦比控制在 6 以下，以避免計算的誤差。成品 2D 網格圖如圖 2-9 所示，三種微溝槽形式的網格相關參數如圖 2-10 所示。

(2) 模型檔案匯入及網格檢查

於 PRO/ENGINEER 中建立好的 2D 網格模型，轉檔成 ANSYS 檔案格式以利 Moldflow 匯入。當匯入 Moldflow 後，須再檢查有限元素網格的節點之正確連接，以免計算出錯。一般常檢查的項目為自由邊界(Free edge)、重疊網格元素(Overlapping element)及網格連續(Mesh connectivity)等，若有問題則以網格修補工具修補問題網格。

(3) 3D 網格及流道和進澆口的建立

確認 2D 網格無誤後，須再對模型建立 3D 網格，方能進行 3D 模流分析。接續為利用軟體的繪圖工具建立進澆口和流道等，以模擬膠料從噴嘴進入模穴的情形。成品的 3D 網格如圖 2-11 所示，三種微溝槽形式 3D 網格參數如圖 2-12 所示。

(4) 設定射出參數，如模溫、融膠溫度和射出時間等，如圖 2-13 所示。射出機台參數設定為 TOSHIBA EC60N-1.5Y，相關參數參考附錄 D。使用膠料為德國 Röhm GmbH PLEXGLAS 8N (PMMA)，相關物質特性參數參考附錄 F。在 Moldflow 的內建資料庫中，此膠料的玻璃轉換溫度為 105°C，而廠商所提供的資料為 117°C，所以更改 Moldflow 的預設值為 117°C 以符合實際情況。



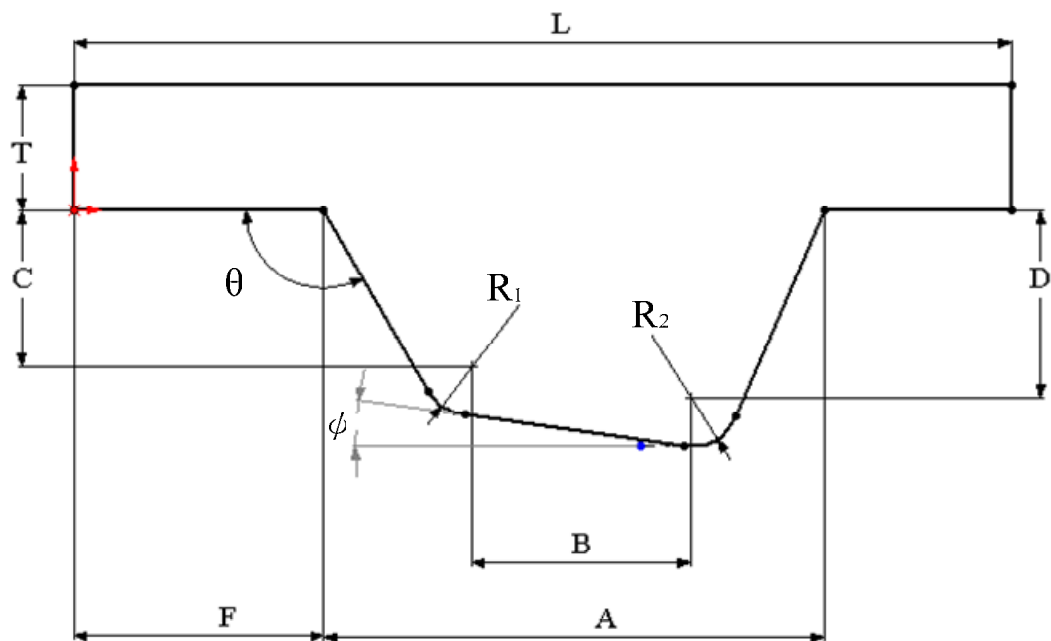


圖 2-1 微溝槽之各尺寸參數位置

(Geometric Model of Parameterized Micro Groove)

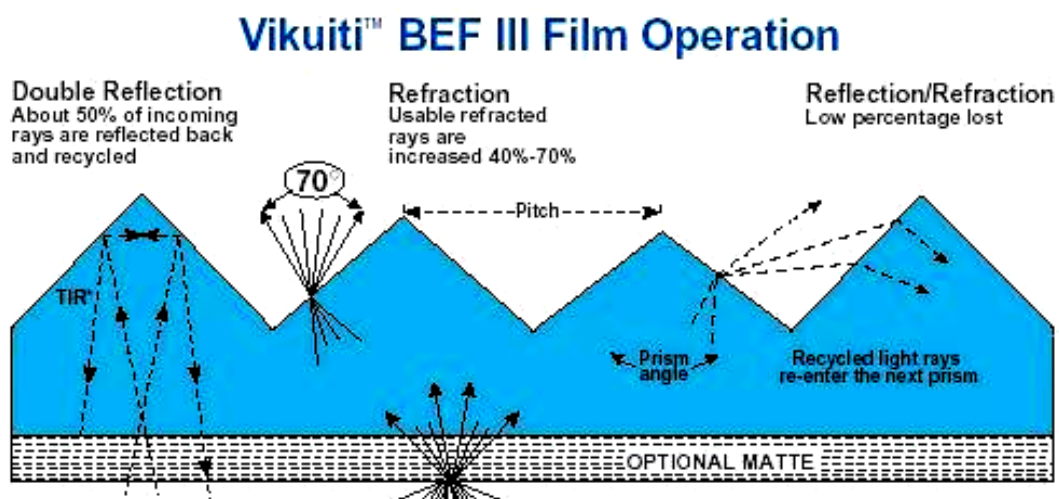
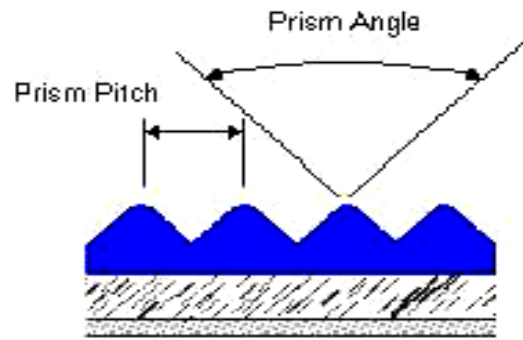


圖 2-2 增光片 (Brightness Enhancement Film) 工作原理

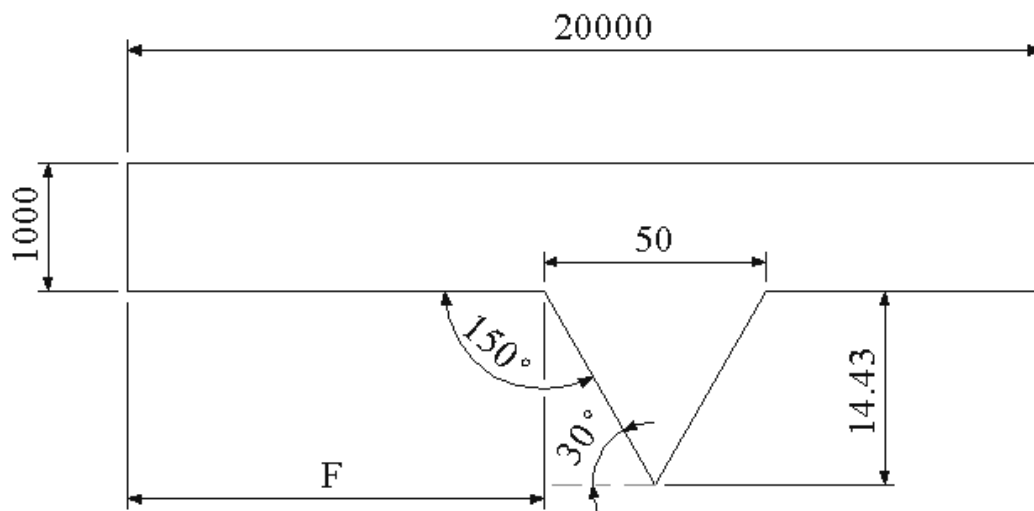
(3M Vikuiti BEF III)



Prism Angle:	90°
Prism Pitch:	50μm
Radius of prism top:	8 μm

圖 2-3 增光片之光學元件特徵尺寸圖

(3M Vikuiti™ Rounded Brightness Enhancement Film-RBEF-8M)



unit:μm

圖 2-4 微溝槽參數化尺寸幾何示意圖

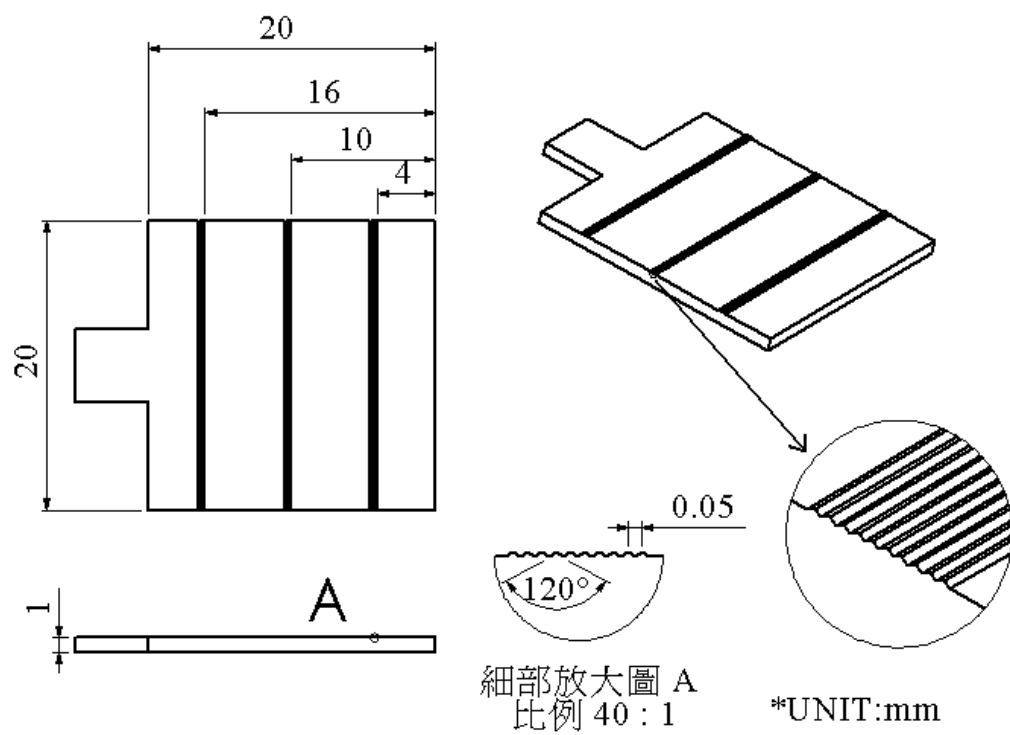


圖 2-5 成品微溝槽圖

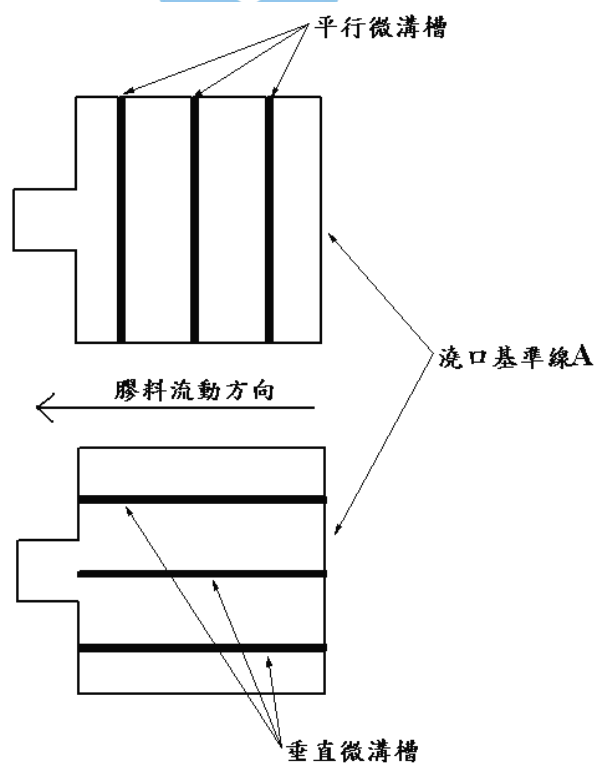
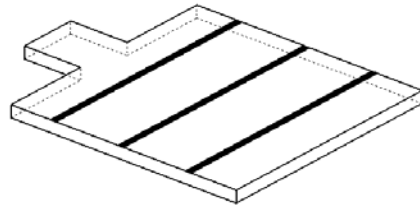
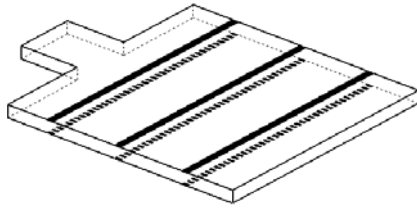


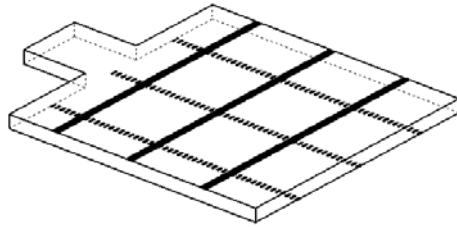
圖 2-6 微溝槽方向定義圖



單面平行微溝槽
(SPMG)



雙面平行微溝槽
(DPMG)



雙面垂直微溝槽
(DOMG)



圖 2-7 三種微溝槽形式成品圖

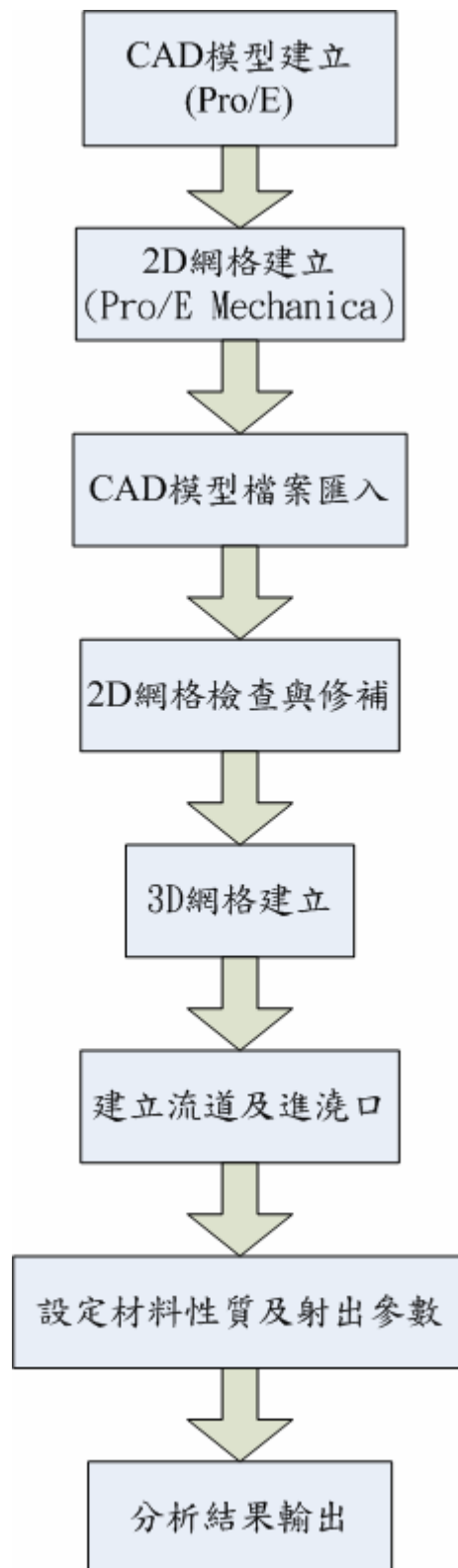


圖 2-8 Moldflow 分析流程圖

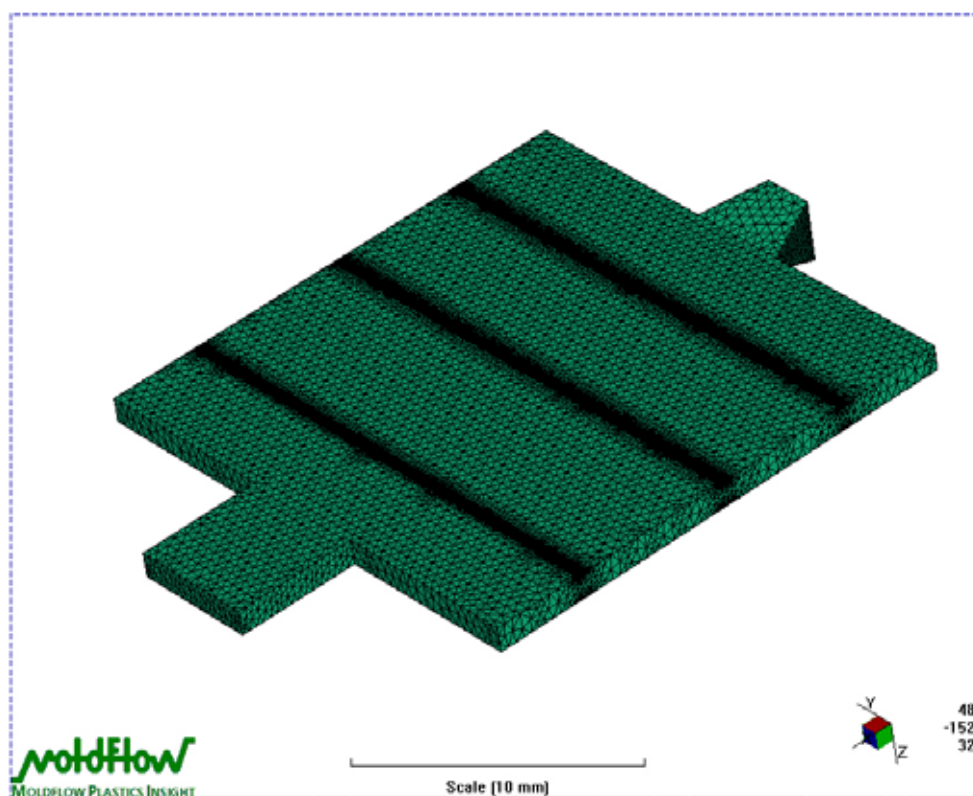


圖 2-9 2D 網格圖



單面平行微溝槽
(SPMG)

雙面平行微溝槽
(DPMG)

雙面垂直微溝槽
(DOMG)

圖 2-10 2D 網格相關參數圖

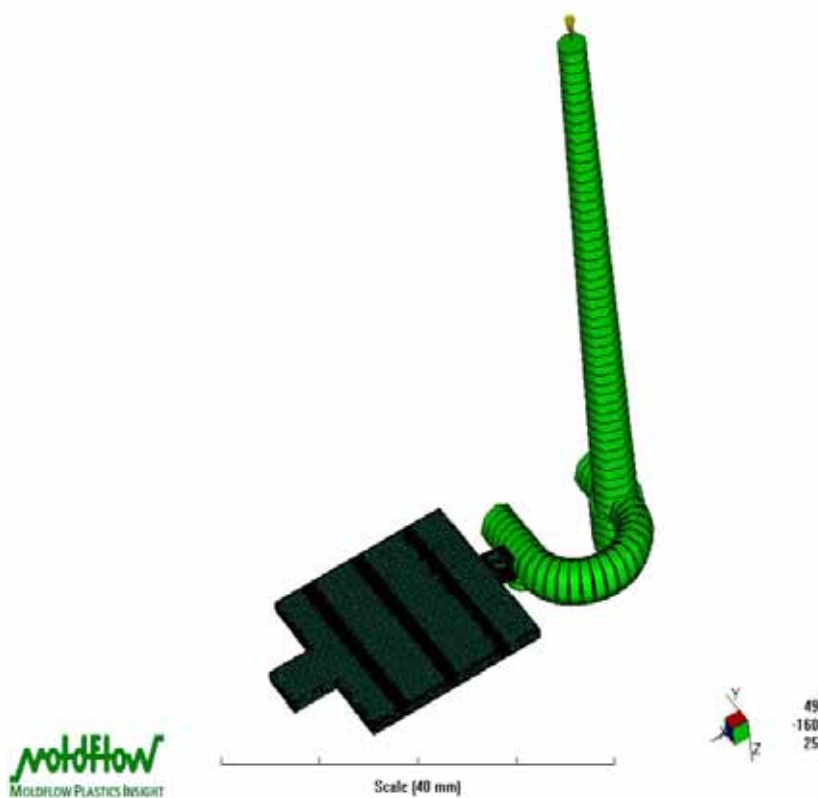


圖 2-11 3D 網格圖

Mesh Statistics

Entity counts-----

Surface triangles	0
Tetrahedral elements	490922
Nodes	104502
Beams	89
Connectivity regions	1

Intersection details-----

Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

Tetra aspect ratios-----

Minimum aspect ratio	1.036715
Maximum aspect ratio	319.603856
Average aspect ratio	9.930852

Close

Mesh Statistics

Entity counts-----

Surface triangles	0
Tetrahedral elements	896174
Nodes	182717
Beams	89
Connectivity regions	1

Intersection details-----

Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

Tetra aspect ratios-----

Minimum aspect ratio	1.110197
Maximum aspect ratio	362.540038
Average aspect ratio	14.150571

Close

Mesh Statistics

Entity counts-----

Surface triangles	0
Tetrahedral elements	892156
Nodes	193089
Beams	89
Connectivity regions	1

Intersection details-----

Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

Tetra aspect ratios-----

Minimum aspect ratio	1.059423
Maximum aspect ratio	381.241025
Average aspect ratio	9.934038

Close

單面平行微溝槽
(SPMG)

雙面平行微溝槽
(DPMG)

雙面垂直微溝槽
(DOMG)

圖 2-12 3D 網格相關參數圖

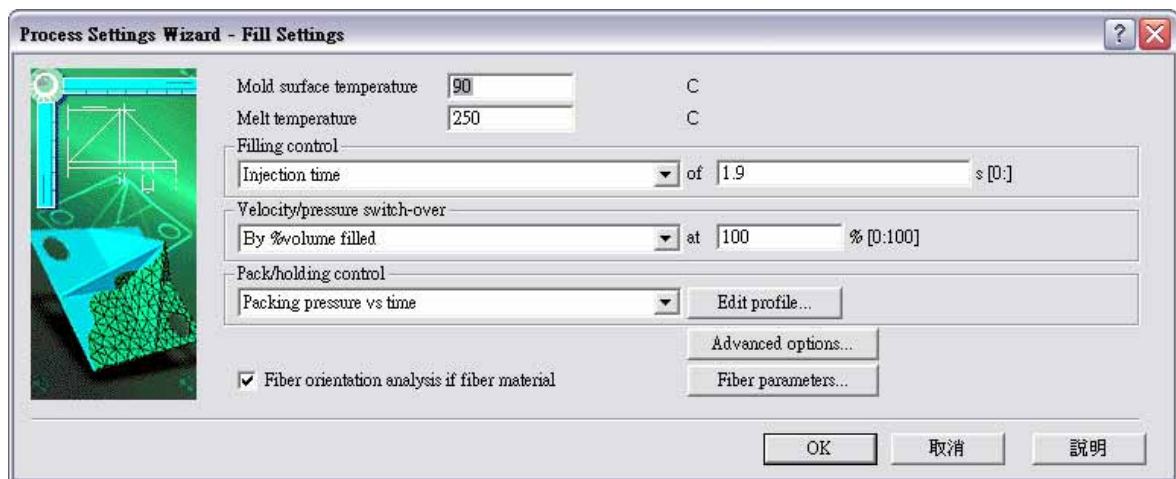


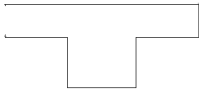
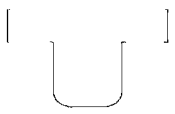
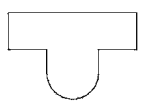
圖 2-13 Moldflow 射出參數設定圖

表 2-1 參數化微溝槽尺寸幾何模型代號

(Geometric Model of Parameterized Micro Groove, GMPMG)

參數代號	參數意義
A	微溝槽之寬度
B	第一圓弧與第二圓弧之水平距離
C	第一圓弧中心點到平板底部之垂直距離
D	第二圓弧中心點到平板底部之垂直距離
F	固定邊到溝槽起點的距離
R_1	第一圓弧之半徑
R_2	第二圓弧之半徑
Θ	平板底部與溝槽交接邊之角度
ϕ	通過微溝槽最低點之線段與水平軸之夾角

表 2-2 微溝槽參數運用表示(Examples of GMPMG)

1.T-Shaped	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	A	C	C	0	0	90	0
2. V-Flat	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	B	C	C	0	0	θ	0
3.V-Flate Round	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	B	C	C	R ₁	R ₂	θ	0
4. T-Round	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	A	C	C	R ₁	R ₂	90	0
5. T-Circle	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	2 R ₁	0	C	C	R ₁	R ₁	90	0

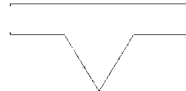
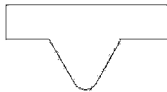
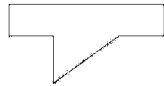
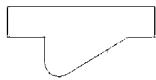
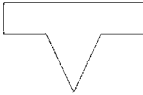
6.Flate-Circle	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	2R ₁	0	0	0	R ₁	R ₁	0	0
7. V-shaped	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	0	C	0	0	0	θ	ϕ
8. V-Round	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	0	C	0	R ₁	0	θ	ϕ
9.Single-V	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	A	C	0	0	0	90	ϕ
10.Single-V Round	T	L	F	A	B	C	D	R ₁	R ₂	θ	ϕ
	T	L	F	A	A	C	0	R ₁	0	90	ϕ

表 2-3 微溝槽尺寸參數表(unit:μm)

V-shaped	T	L	F	A	B	C	D	R1	R2	θ	ϕ
	1000	20000	F	50	0	14.43	0	0	0	150	30



第三章 實驗設備

本章節將介紹實驗所使用的模具設計及射出成形相關設備與量測儀器。

3.1 模具設計

本實驗所要探討的是雙面微結構成形，有別於一般單面微結構，所以在模具設計上將著重於入子的設計，頂出裝置及冷卻水路設計等三大部份。模具結構為使用 Solidworks 軟體來設計，其結構圖如附錄 B 所示。

3.1.1 模仁入子設計與加工

在本實驗中所使用加工的模仁入子材質為鈹銅 ($k=103.8\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$)，因其熱傳導較一般模具鋼料 ($k=29\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$) 佳。微溝槽加工法為鑽石車刀切削，加工機器為 TOSHIBA ULG-100H3 曲面加工機，如圖 3-1 所示，其規格如附錄 C。微溝槽尺寸如第 2.2 節所敘，寬 $50\mu\text{m}$ ，頂角 120 度，深度 $14.43\mu\text{m}$ 。並分別在公母模入子上建立三區段連續微溝槽。如圖 3-2 所示為可動側入子工程圖，圖 3-3 為固定側入子工程圖。另為討論當雙面微溝槽呈互相平行與垂直時之情形，所以特別設計固定側為固定，而可動側入子為可轉向結構，以求模座共用性。

模仁入子經加工後其微溝槽 3D 量測圖如圖 3-4 所示。可動側入子實際加工後尺寸，第一段深度為 $13.22\mu\text{m}$ ，第二段深度為 $13.20\mu\text{m}$ ，

第三段深度為 13.13 μm ，每段微溝槽尺寸之定義為每一段各取 3 個溝槽的平均值，量測尺寸分別如圖 3-5、圖 3-6 及圖 3-7 所示。

固定側入子實際加工後尺寸，第一段深度為 13.37 μm ，第二段深度為 13.53 μm ，第三段深度為 13.59 μm ，量測尺寸如圖 3-8、圖 3-9 及圖 3-10 所示。

可動側與固定側入子量測尺寸整理如表 3-1 所示。量測尺寸分佈情況如圖 3-11、圖 3-12 所示。其中固定側第二段微溝槽的第一跟第二量測值皆為 13.34 μm 。

3.1.2 頂出裝置

因成品為雙面微結構，因此在頂出成品時，須特別注意成品受力的均勻性。所以在模仁的周邊皆設計拔模角，以防止拉模變形。頂出方式則採三點頂出，除在注道底部之冷料井與澆道跟進澆點交接處外，另設計一溢料井供頂出，使頂出力量能均勻分佈前後端，防止變形。如圖 3-13 所示。

3.1.3 冷卻水路設計

為提供膠料成品冷卻，於可動側及固定側模板皆各設計一口型冷卻水路，其直徑 6mm，水路中心距模穴表面 12mm，為 2 倍水路直徑，以供模穴冷卻用。可動側及固定側冷卻水路圖分別如圖 3-14，圖 3-15 所示。

3.2 全電式射出成形機

實驗所使用的射出成形機為趙城公司所提供之日本 TOSHIBA 公司所生產的 EC60N-1.5Y，如圖 3-16 所示。此機台為全電式射出成形機，由伺服馬達控制機台的所有作動，如射出，進料，合模及頂出等。此機台最大射出壓力為 240MPa，最大射速為 200mm/s，螺桿直徑為 25mm，最大鎖模力為 60Ton。附錄 D 為此射出機台相關數據。

3.3 模溫機

本實驗所使用的模溫機為顯昌企業股份有限公司所生產，型號為 TH-2001，如圖 3-17 所示。此機台為油溫機，以熱煤油為傳熱媒介，溫度最大可達 200°C。利用此模溫機來控制模具溫度，以提供成品冷卻使用，並符合控制實驗參數所需。

3.4 烘料機

實驗前需先將膠料乾燥處理，以防濕氣影響材料特性。本實驗所使用的烘料機為信易公司所生產，如圖 3-18 所示。

3.5 量測儀器

在量測模仁加工微溝槽與射出成品部份，使用 KEYENCE 公司的雷射顯微鏡 VK8550，如圖 3-19 所示。其規格如附錄 E。

3.6 塑膠材料

本實驗所選用膠料為德國 Röhm GmbH 公司所生產的壓克力 (PMMA)，型號為 PLEXIGLAS 8N，因其光學性佳而可用於導光板之射出成形，膠料如圖 3-20 所示，詳細物性表如附錄 F。

由以上述之模具設計及設備資料，可提供接續下一章節實驗設計部分參數設定之參考。





圖 3-1 TOSHIBA ULG-100H3 曲面加工機
(工研院光電所)

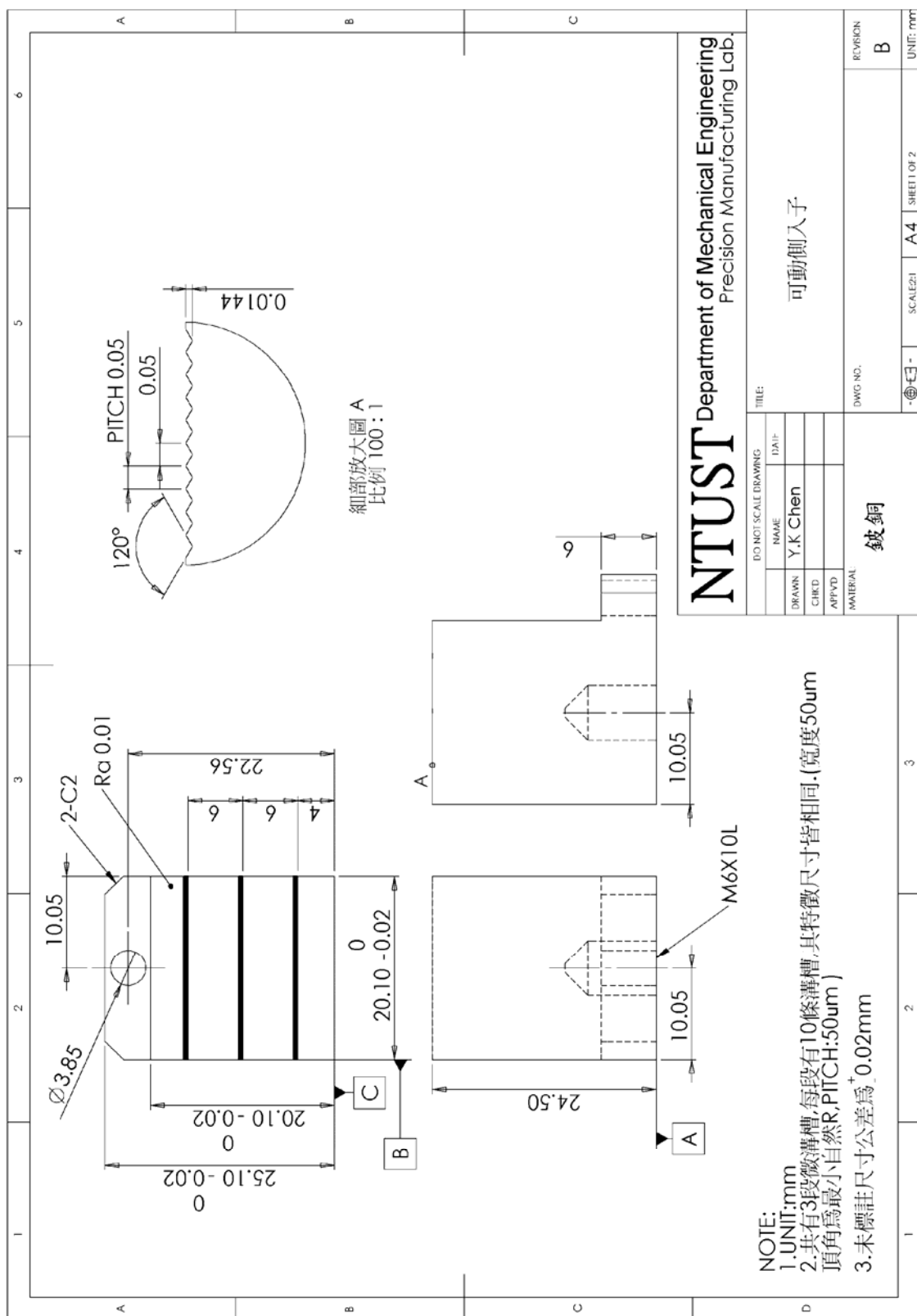


圖 3-2 可動側入子圖

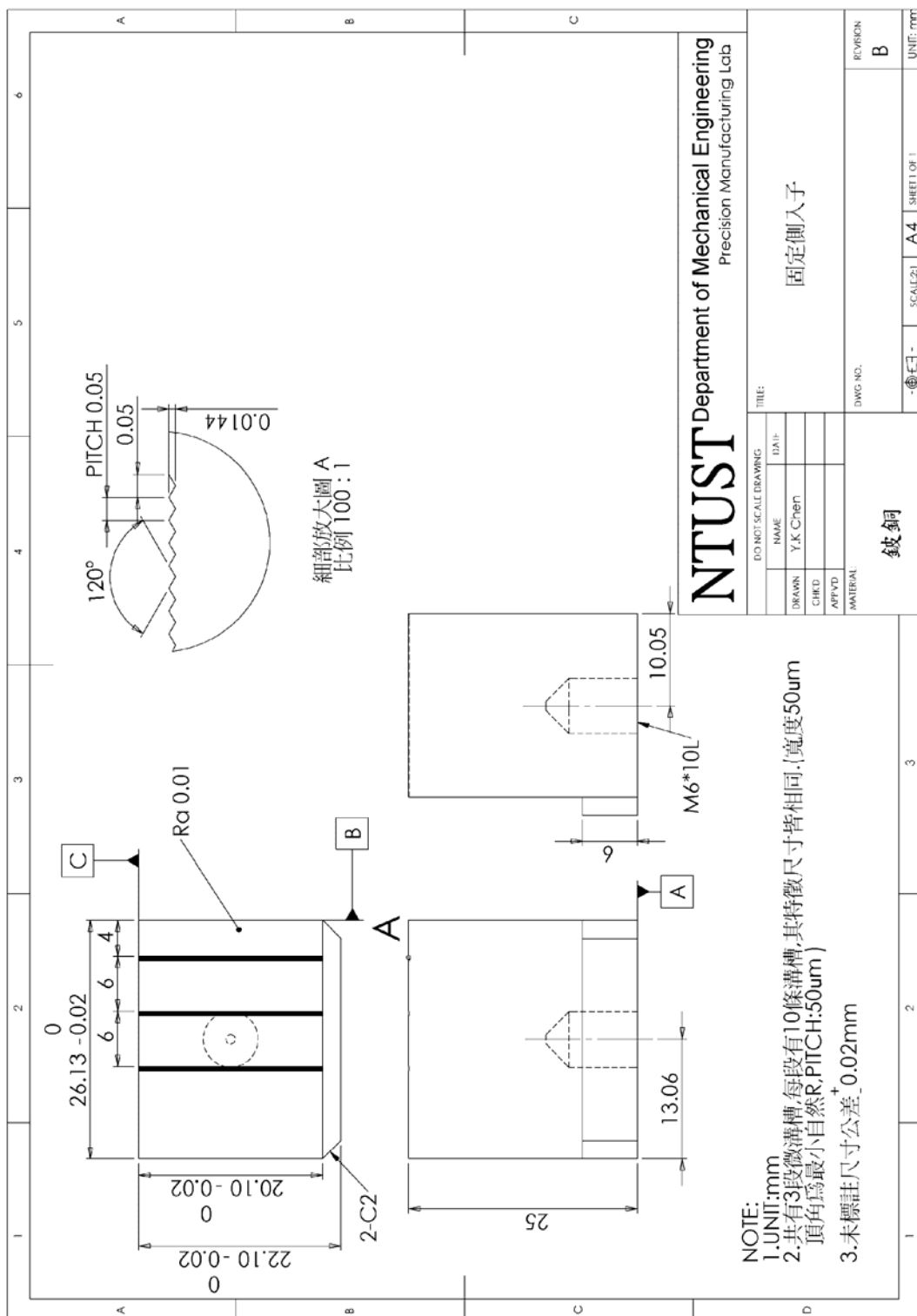


圖 3-3 固定側入子圖

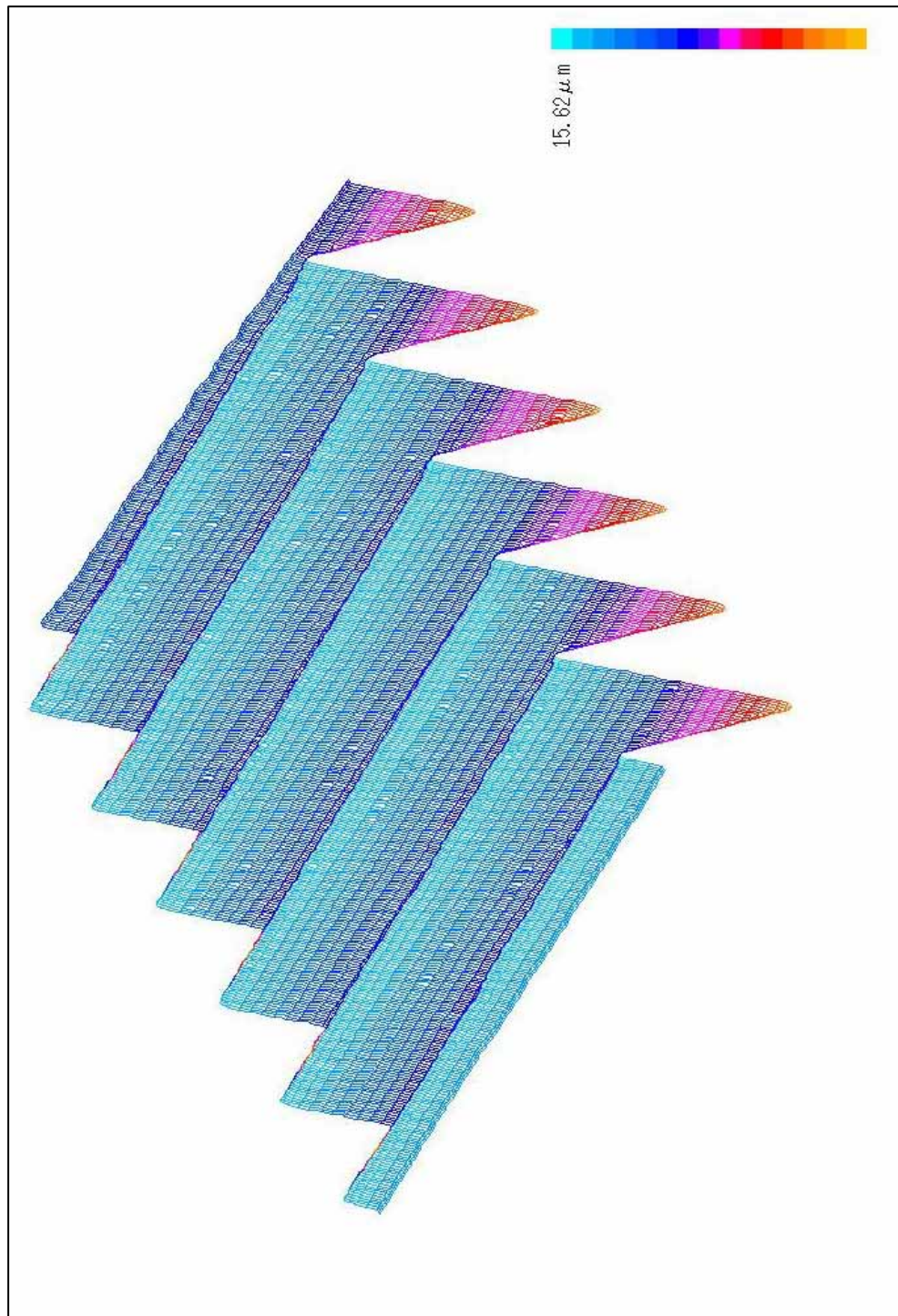


圖 3-4 模仁入子微溝槽 3D 量測圖

[Profile (Multiple)]

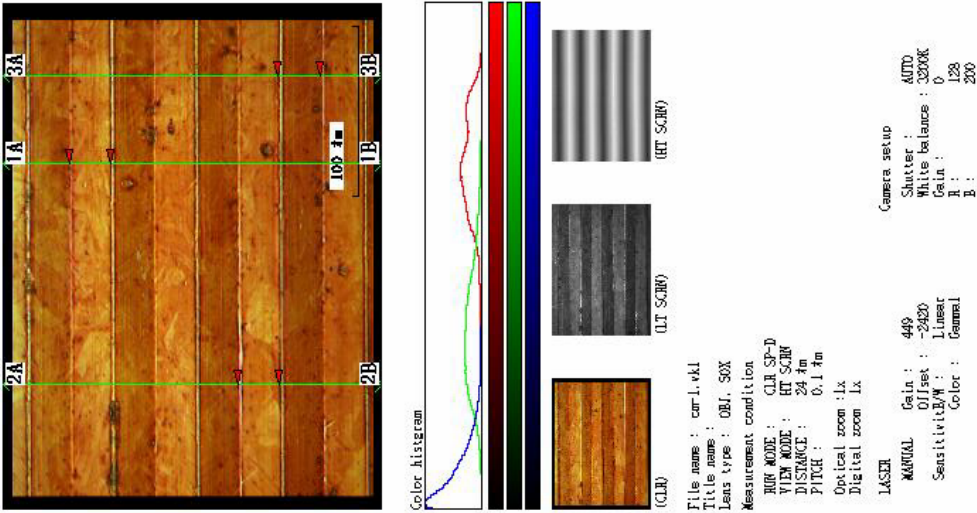
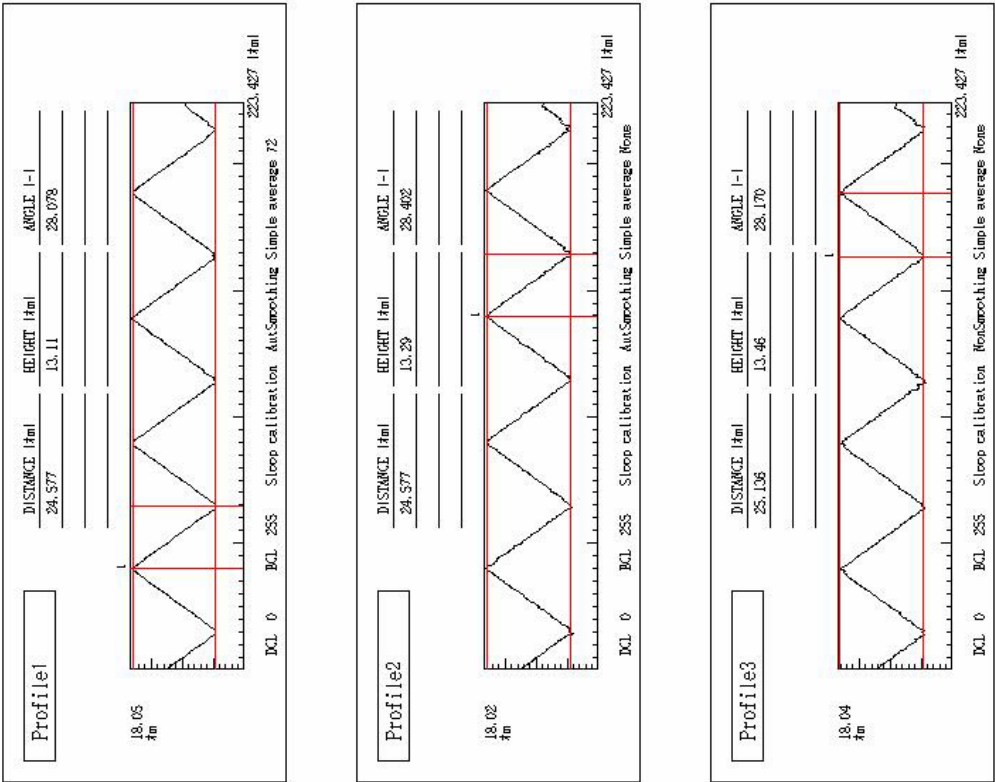


圖 3-5 可動側入子第一段微溝槽尺寸圖

[Profile (Multiple)]

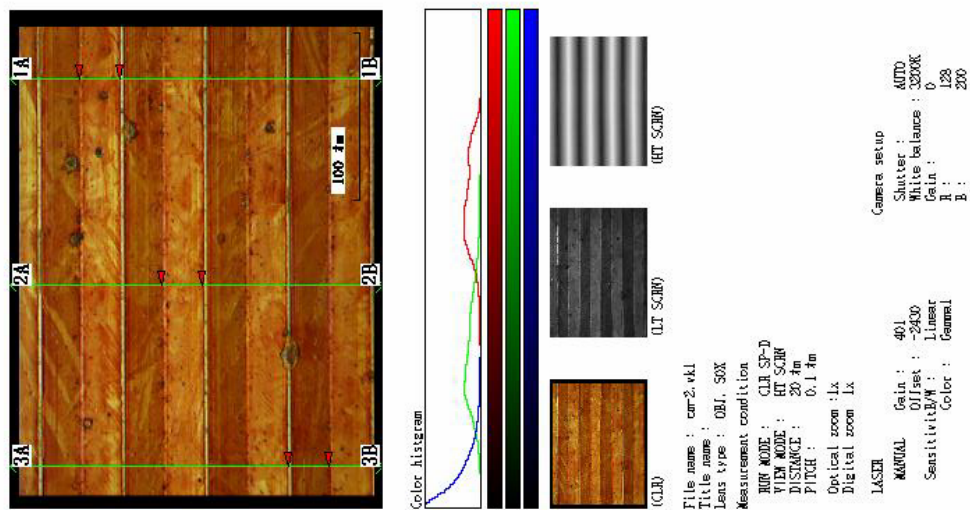
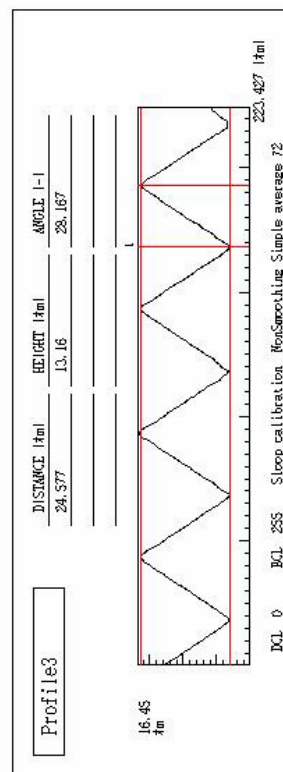
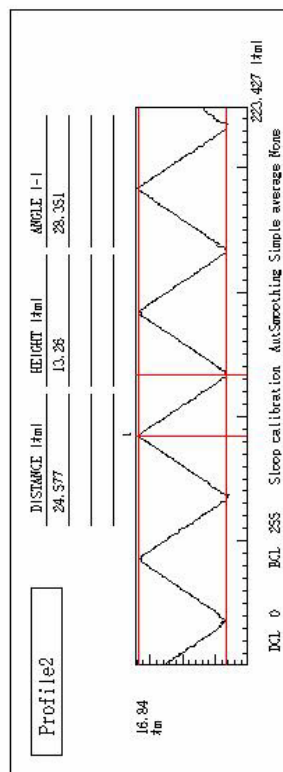
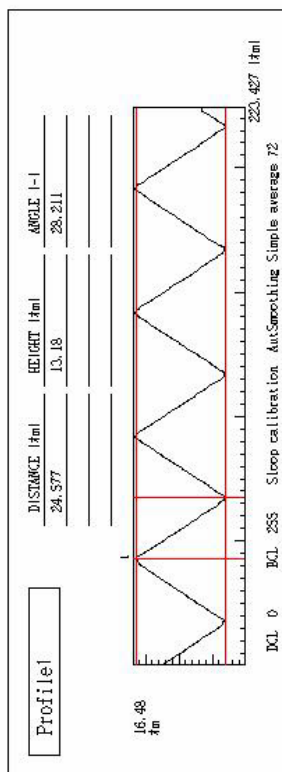


圖 3-6 可動側入子第二段微溝槽尺寸圖



[Profile (Multiple)]

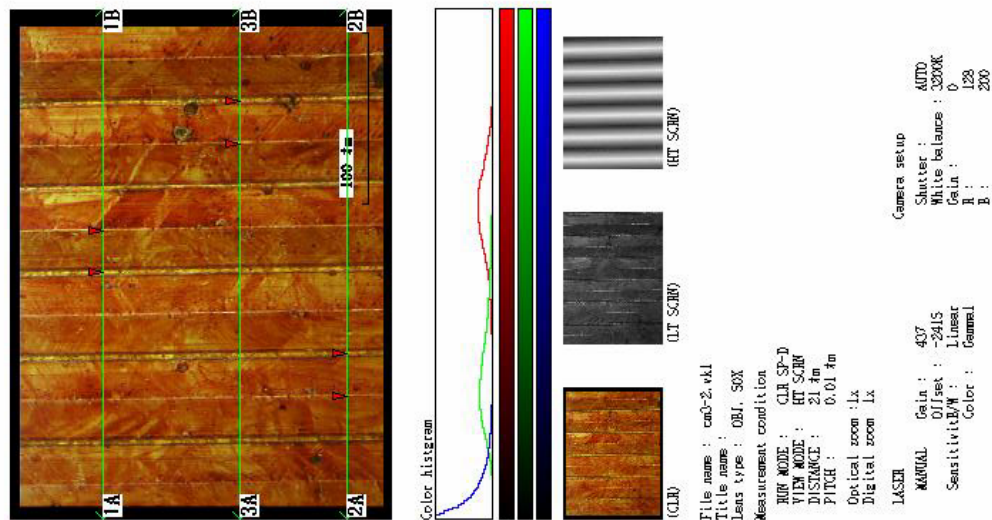
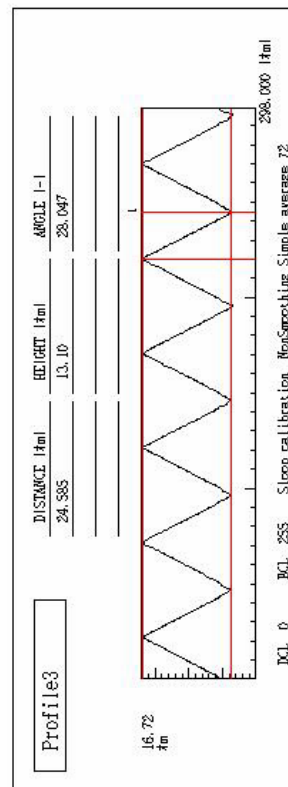
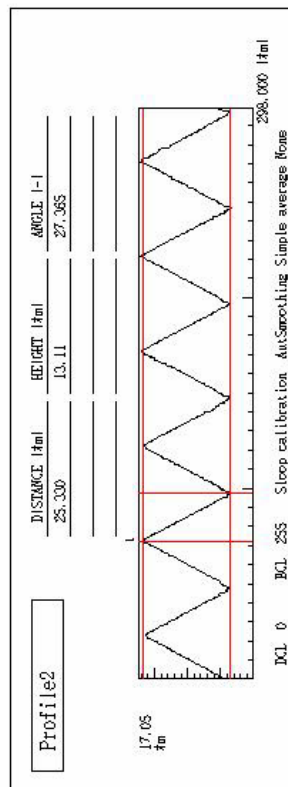
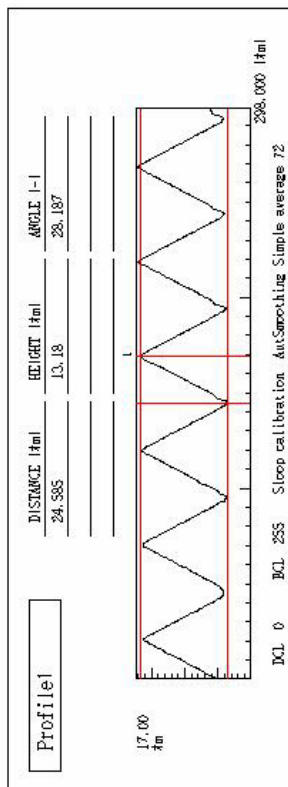


圖 3-7 可動側入子第三段微溝槽尺寸圖



[Profile (Multiple)]

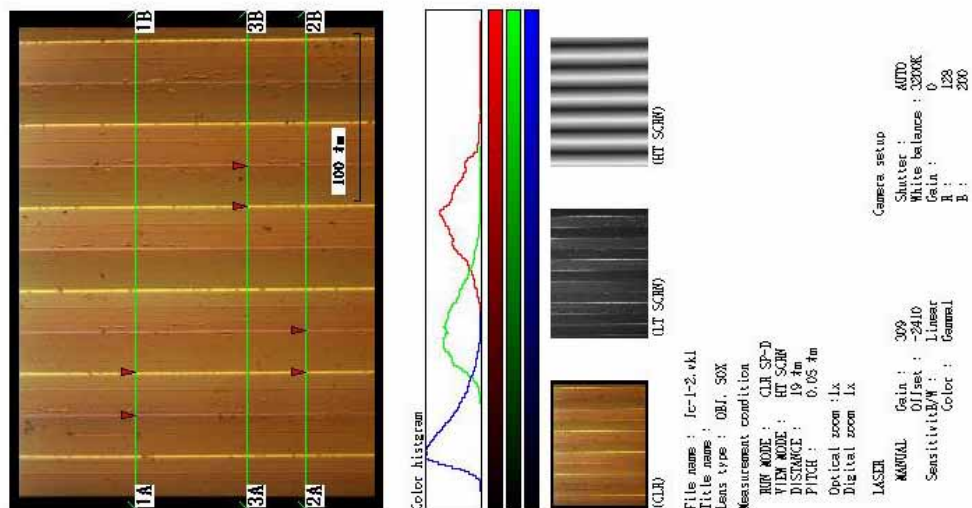
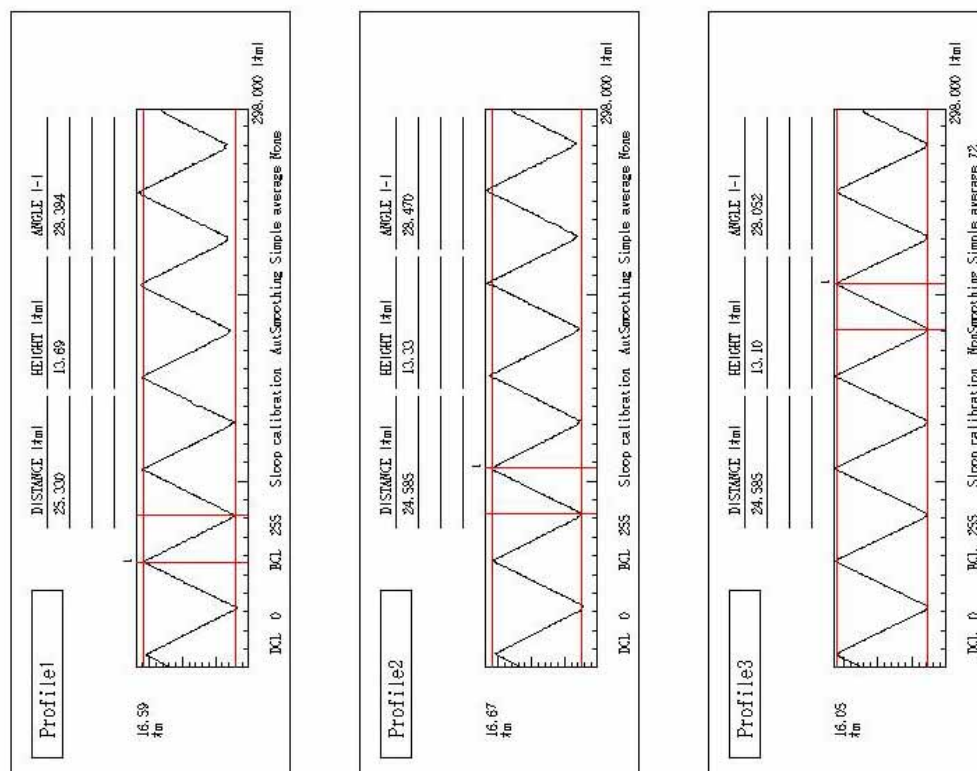


圖 3-8 固定側入子第一段微溝槽尺寸圖



[Profile (Multiple)]

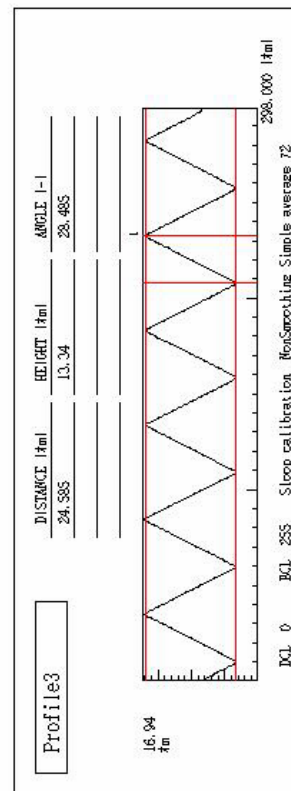
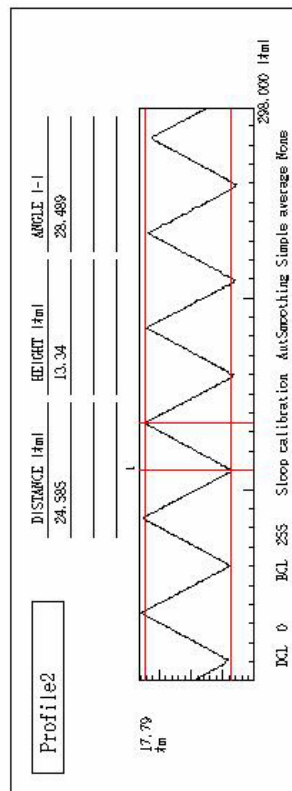
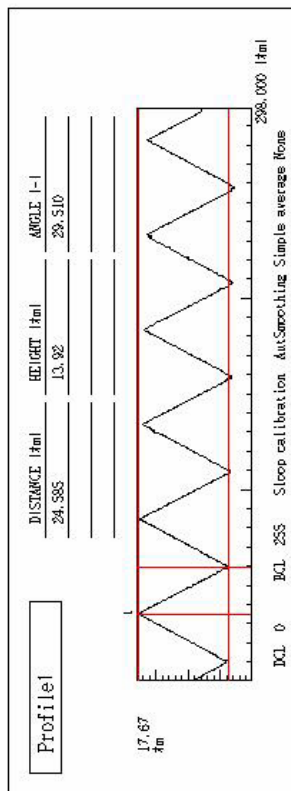
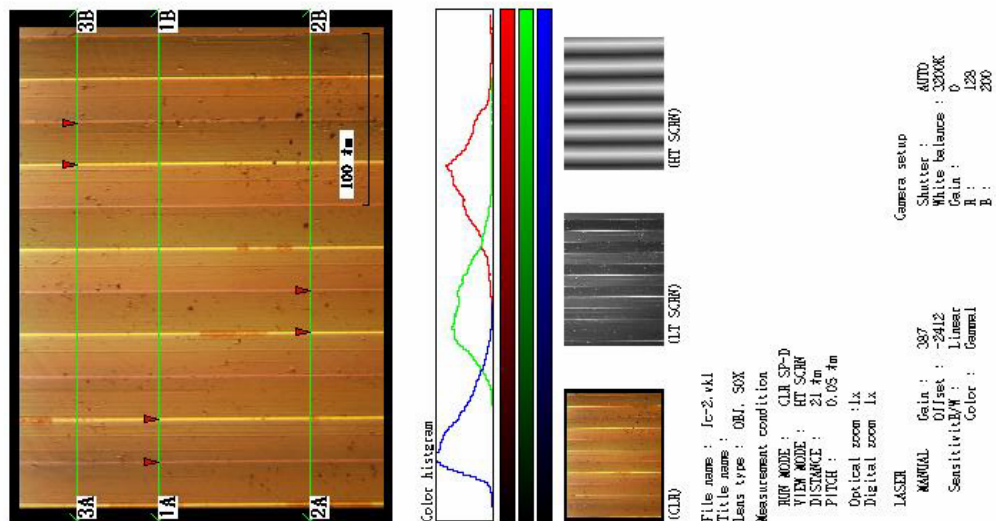


圖 3-9 固定側入子第二段微溝槽尺寸圖

[Profile (Multiple)]

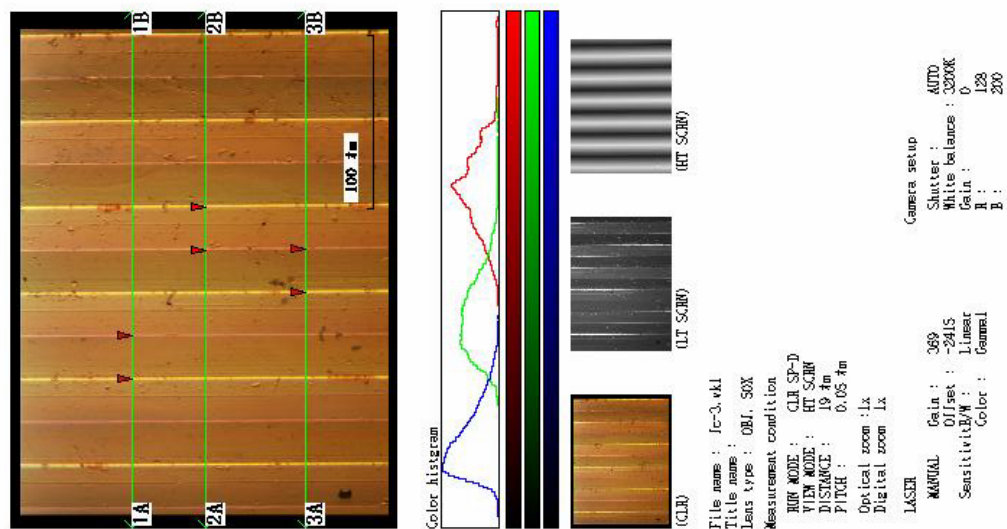
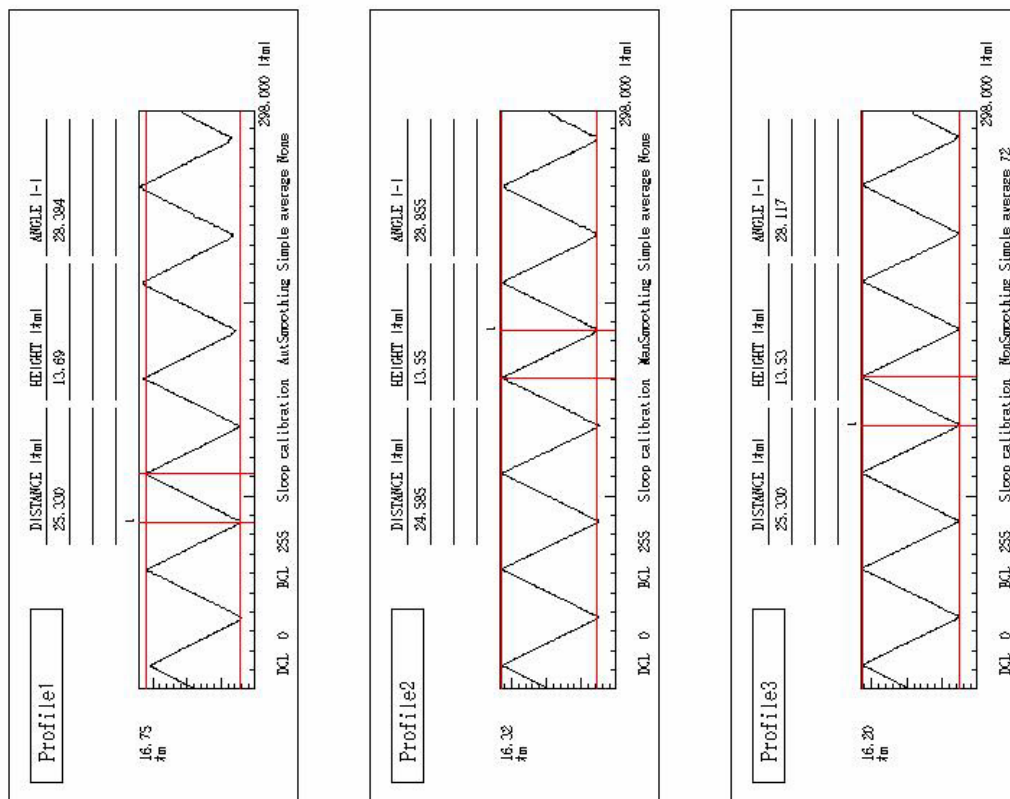


圖 3-10 固定側入子第三段微溝槽尺寸圖



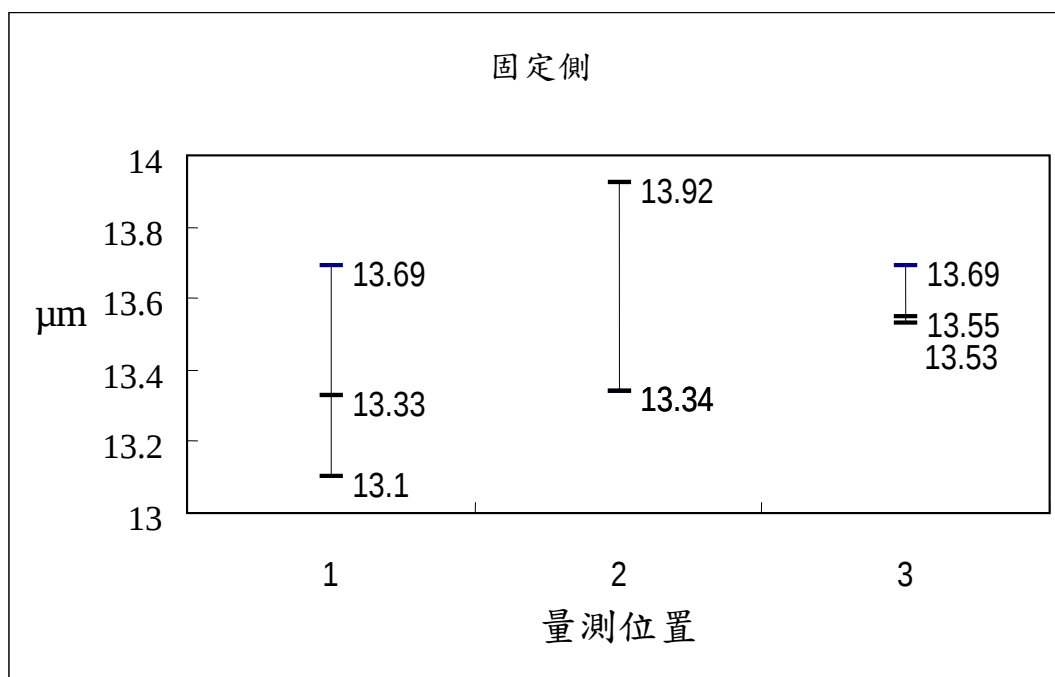


圖 3-11 固定側微溝槽量測尺寸分佈圖

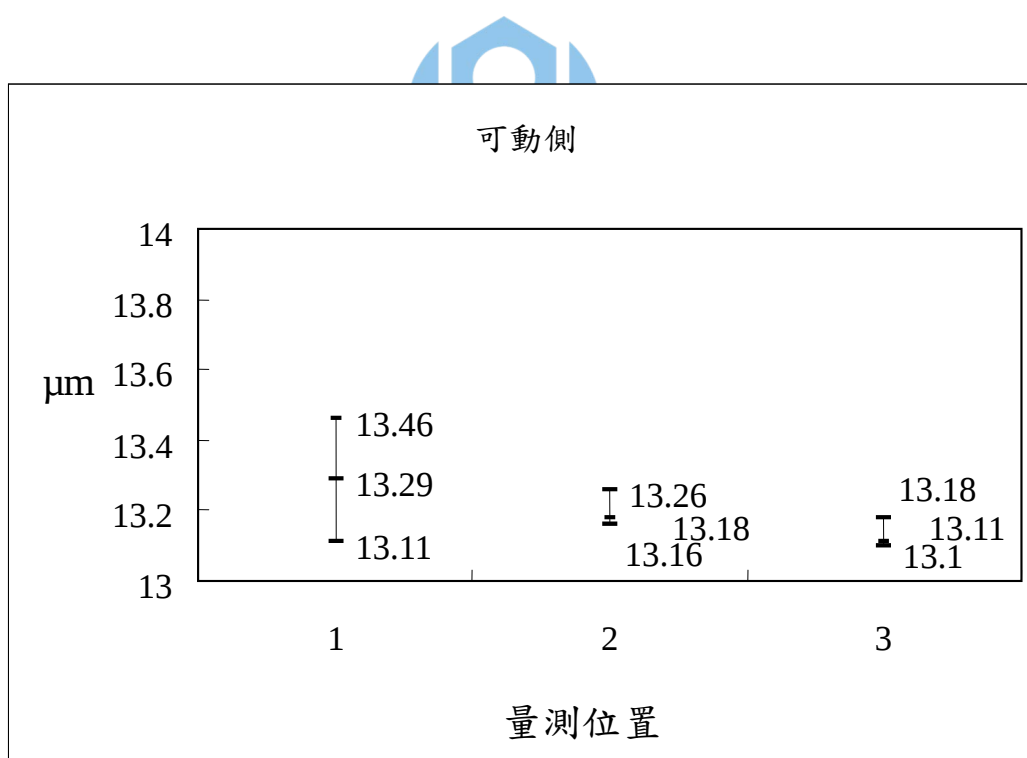


圖 3-12 可動側微溝槽量測尺寸分佈圖

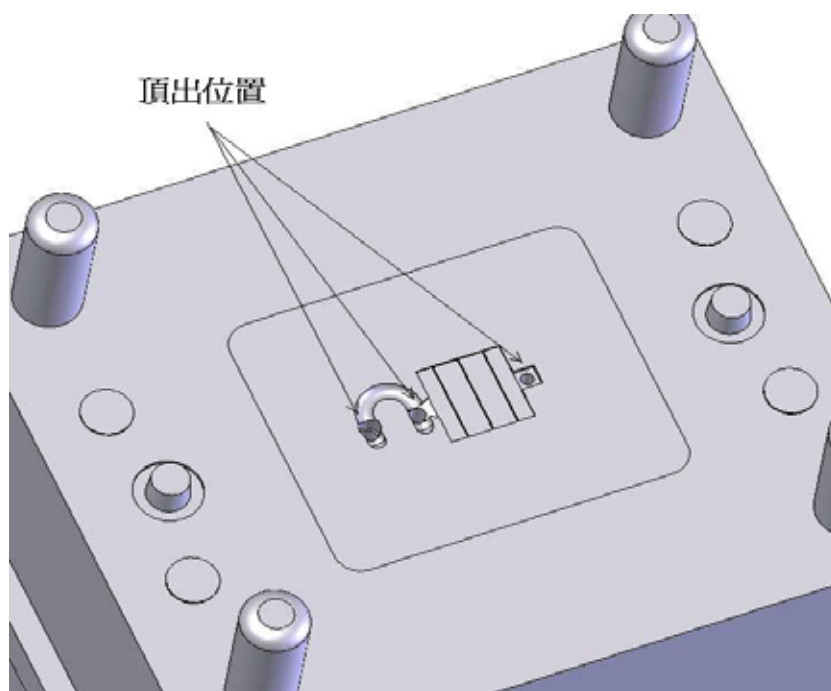


圖 3-13 頂出位置圖

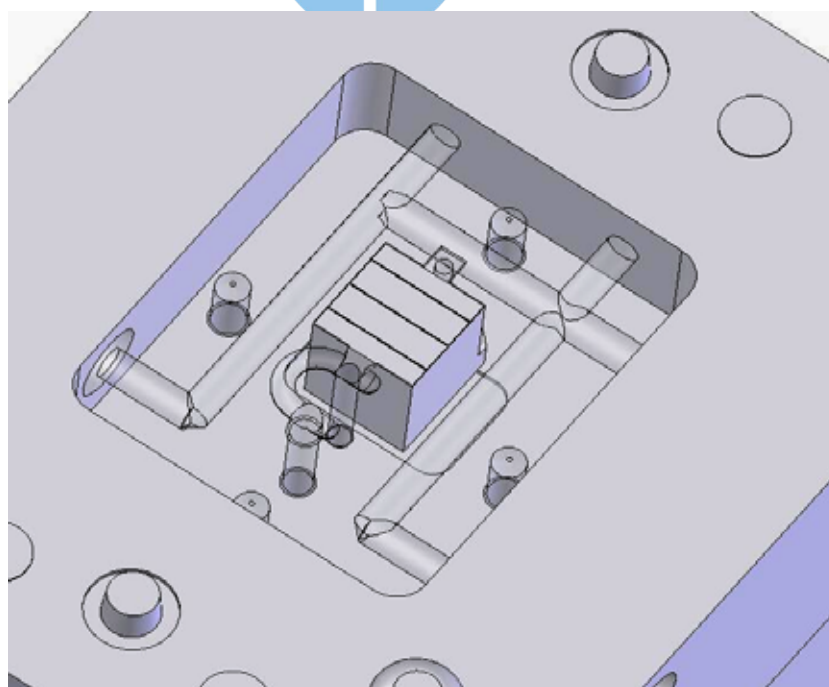


圖 3-14 可動側模仁冷卻水路圖

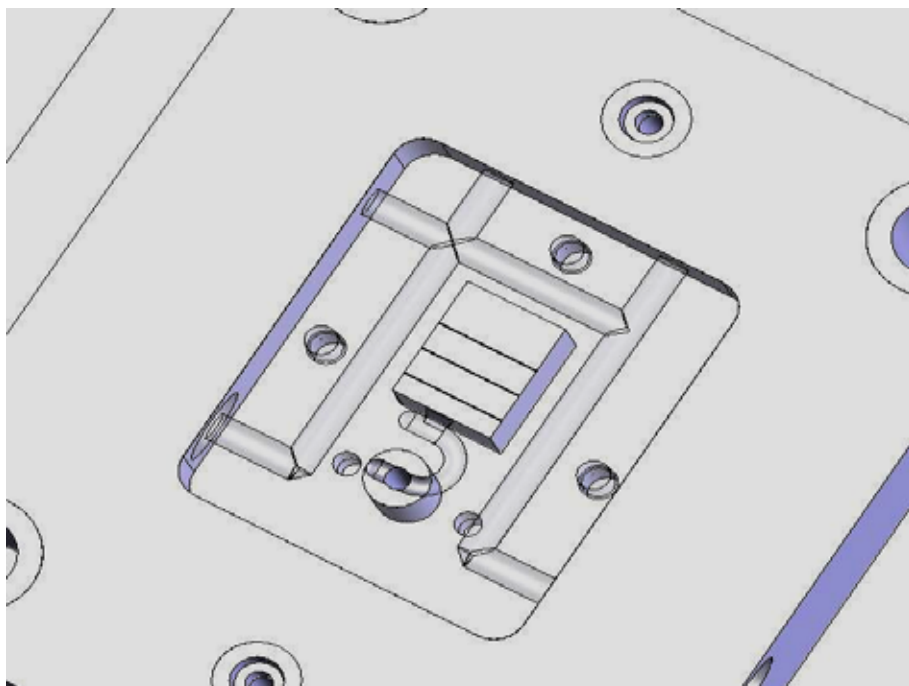


圖 3-15 固定側模仁冷卻水路圖



圖 3-16 TOSHIBA EC60N-1.5Y 全電式射出機(趙城公司提供)



圖 3-17 顯昌 TH-2001 模溫機



圖 3-18 信易牌烘料機



圖 3-19 KEYENCE VK8550 雷射共軛焦顯微鏡



圖 3-20 Röhm GmbH PLEXIGLAS 8N (PMMA)

表 3-1 入子微溝槽尺寸表

		1	2	3	平均值(μm)
固定側	第一段	13.69	13.33	13.1	13.37
	第二段	13.34	13.34	13.92	13.53
	第三段	13.69	13.55	13.53	13.59
可動側	第一段	13.11	13.29	13.46	13.29
	第二段	13.16	13.26	13.18	13.20
	第三段	13.1	13.18	13.11	13.13



第四章 實驗設計規劃

本實驗設計將分成兩大部份進行，一為分析模擬部份，另一為實際射出成形部份。在分析模擬部份，使用 Moldflow 5.0 分別針對單面平行微溝槽，雙面平行微溝槽及雙面垂直微溝槽等三種型式進行充填分析，觀察膠料流動分佈情形，以提供實作時分析比較。

在實際射出成形部份，將以雙面平行微溝槽為主軸，參考利用單面微溝槽的成型操作窗以訂出實驗射出參數設定範圍，並利用田口法求出最佳射出參數，且觀察射出參數對微溝槽成形率的影響。最後再以此組最佳參數設定於雙垂直微溝槽的射出成形中，以比較當微溝槽呈不同方向時，其成形率的差異。整體實驗流程規劃如圖 4-1 所示。



4.1 微溝槽成形率定義

本研究主要目的為探討微溝槽的轉寫性，但實驗所使用的模仁入子，會因為加工而產生誤差，每一段微溝槽深度皆有些許不同。因此實驗結果將採用溝槽成形率(Transfer Ratio of Groove, TRG)來表示微溝槽的轉寫品質。微溝槽成形率示意圖如圖 4-2 所示。

溝槽成形率(Transfer Ratio of Groove, TRG)其計算方式如式 4-1 所示。

$$TRG = \frac{h}{H} \times 100\% \quad (4-1)$$

TRG=微溝槽成形率

h =微溝槽充填之最大深度

H =模仁入子加工之微溝槽深度

4.2 微溝槽量測點位置

因本研究將針對雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽作射出成形實驗，故本小節將定義成品之個別量測點位置。雙面平行微溝槽的量測點位置如圖 4-3 所示，固定側(母模)量測點分別為 f_1 、 f_2 及 f_3 ，可動側(公模)量測點分別為 m_1 、 m_2 及 m_3 ；雙面垂直微溝槽的量測點如圖 4-4 所示，固定側(母模)量測點分別為 f_1 、 f_2 及 f_3 ，可動側(公模)量測點分別為 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 及 m_5 。量測成品之成形高度(h)後，與相對應之模仁溝槽深度(H)比較，即可得到溝槽成形率(TRG)。



4.3 實驗準備及量測取樣

本研究在進行射出實驗前，皆先將膠料以 70°C 烘乾一至二小時，以防膠料吸收濕氣而影響實驗準確性。每一組設定參數的射出品皆取第五件之後以確保其設定值的穩定度。在射出成品量測部分，每一量測點處皆取樣 3 個微溝槽深度，求其平均值以計算微溝槽成形率。

4.4 實驗參數設定

在射出成形時所需設定的參數包括模溫，膠料融溫，射出速度，射出壓力，保壓壓力，保壓時間，冷卻時間等。以下將就各項參數選定作

一介紹。

4.4.1 模溫與塑料融溫

從表 1-2 可知，模具溫度在微結構轉寫上為重要因素，所以模具溫度與膠料融溫的設定則參考廠商所提供的建議值，如附錄 F 所示。在實際射出實驗中，發現當膠料融溫高於 255℃，模溫高於 95℃ 時，成品會因溫度過高而產生顏色偏黃現象。所以在探討模溫時，其設定值分別為 90℃、80℃ 和 70℃。膠料融溫於射出機加熱管的設定，從噴嘴至入料口共四段依序分別為 250℃、250℃、245℃ 及 230℃。

4.4.2 射出速度與射出壓力

本實驗規劃為 2 段式射出，第一段射出目的為大部充填三段微溝槽，第二段射出則降低射速以慢速高壓作微溝槽的最後充填。第一段射出速度與射出壓力的水準選擇為參考單面微溝槽的成型操作窗，其操作窗如圖 4-5 所示。射出速度水準選擇分別為 80mm/s，90mm/s 及 100mm/s。射出壓力水準選擇分別為 80MPa，90MPa 及 100MPa。至於第二段射速水準的選擇上，因其目的為輔助微溝槽的最後充填將不納入主要因子，所以將其固定為 15mm/s。

4.4.3 保壓壓力與保壓時間

為防止成品翹曲情況發生，一般保壓壓力為射出壓力的 70%~80%，所以保壓壓力水準設定分別為 50MPa，60MPa，及 70MPa。在保壓時間方面，分析模擬射出時間約為 1.9 秒，故取 3 秒為其保壓時間。

4.4.4 冷卻時間

在初期進行短射實驗時，發現當模溫 90 時，若冷卻時間低於 12 秒時，豎澆道會因為來不及凝固使可動側無法抓取因而卡在固定側。所以冷卻時間取 16 秒，以確保成品凝固。

4.5 田口實驗設計法【29】

1950 年代田口玄一(Genichi Taguchi)博士倡導使用直交表的實驗設計，並領導一群研究人員開發各種直交表、點線圖、應用技巧及解析方法。由於此方法對實驗結果的再現性很高、配置實驗的伸縮性大、實驗次數較少、實驗配置容易與解析方法較為簡單等理由與優點，因此在日本迅速的普及。日本人將田口博士的學問稱為品質工程(Quality Engineering)，歐美各國在 1980 年代開始接受此方法而稱為田口方法(Taguchi's Method)。

本實驗以雙面平行微溝槽射出探討為主軸發展，所以將利用田口法求出最佳參數組合，以取得微溝槽最佳成形率。以下將大略敘述其實驗實施步驟，詳細計算結果及分析圖表將於第五章中討論。

(1)實驗目的：

本實驗為探討微溝槽的成形率，所以品質特性的要求為充填深度之最佳化。

(2)品質特性的選定：

品質特性可區分為三大型態：

a.望小特性：非負數值且其值越小越好，其理想值為 0。

b.望大特性：非負值，越大越好的特性就是望大特性。

c.望目特性：其特性為越接近目標值越好。

在本研究中，關於微溝槽的成形率為越大越好，因此將以望大特性來做為品質特性的評估。其 S/N 比公式為式(4-2)。

$$S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \quad (4-2)$$

其中 Y_i 為第 i 個品質特性，

n 為資料數目

(3) 因子的選定

利用魚骨圖以分析可能相關的參數因子。本實驗的魚骨圖如圖 4-3 所示。關於因子及其水準選定已於 4.4 節敘述。

(4) 選擇適當的直交表及實驗實施

直交表的想法是以較少的實驗次數來獲得有用的統計資訊，以提高實驗效率。由上述 4.3.3 因子的選定所述，本實驗將採用 $L_9(3^4)$ 直交表。其因子水準配置及實驗使用的 $L_9(3^4)$ 直交表如表 4-1，表 4-2 所示。

(5) 資料分析與最佳條件決定

資料分析的主要工作為依據前項的資訊，利用 S/N 反應圖表，調整控制因子，以求取最佳的參數組合。

(6) 確認實驗

依據最佳參數組合做確認實驗，以驗證實驗結果的再現。

4.6 變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)

變異數分析是以統計學為基礎，可以準確評估各因子在群組內對平均值表現之不同亦即是可找出顯著因子。因為當因子特性比實驗誤差大時，便能判斷此因子是為重要的或不可忽略的。有了實驗誤差後就可以評估因子效應相對於實驗誤差的重要性，而不足以達到該程度的因子效應則可視為只是實驗誤差造成的偶發效應。

ANOVA為利用數學計算方法，量化評估每一控制因子平均效應來自整個實驗平均效應的偏差量，估算方式以平方和(Sum of Square)為基礎，其計算式如下：

(1)全變動 SS_T ，其為各實驗條件之 S/N 比的變異總量為各條件的 S/N 比與平均的 S/N 比之差的平方和，如式(4-3)。

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}{n} \quad (4-3)$$

(2)各因子的變動率

$$SS_A = \frac{\sum_{i=1}^p Y_i^2}{m} - \frac{\left(\sum_{i=1}^p Y_i \right)^2}{n} \quad (4-4)$$

p 為因子A具有的水準數

m 為每一個水準的實驗次數

(3)因子自由度 f

$$f = p - 1 \quad (4-5)$$

(4)因子變動率，以判斷何者將列入誤差因子。

$$V_A = \frac{SS_A}{f} \quad (4-6)$$

(5)變異比 F_{test} ，可看出誤差因子對每一因子的影響。

$$F_{test} = \frac{V_A}{V_{error}} \quad (4-7)$$

(6)貢獻率 P_A ，以看出每一個因子對實驗的影響程度。

$$P_A = \frac{SS_A'}{SS_T} \times 100 \quad (4-8)$$



$$SS_A' = SS_A - f_A \times V_{error}$$

(7)信心區間值(CI)，以核對確認實驗值是否落於預測值的信心區間。

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;fe} V_e}{n_{eff}}} \quad (4-9)$$

$$n_{eff} = \frac{n}{1 + [\text{total degrees of freedom associated with items}]}$$

$$F_{\alpha;1;fe} = F \text{ ratio}$$

$$\alpha = \text{risk} = 1 - \text{Confidence}$$

$$fe = \text{degrees of freedom for pooled error}$$

附錄 G 為 F ratio 表。

由以上所敘述之參數設定範圍及田口法跟變異數分析的方法可讓本研究求得雙面平行微溝槽之最佳參數及各射出參數對微溝槽成形的影響。



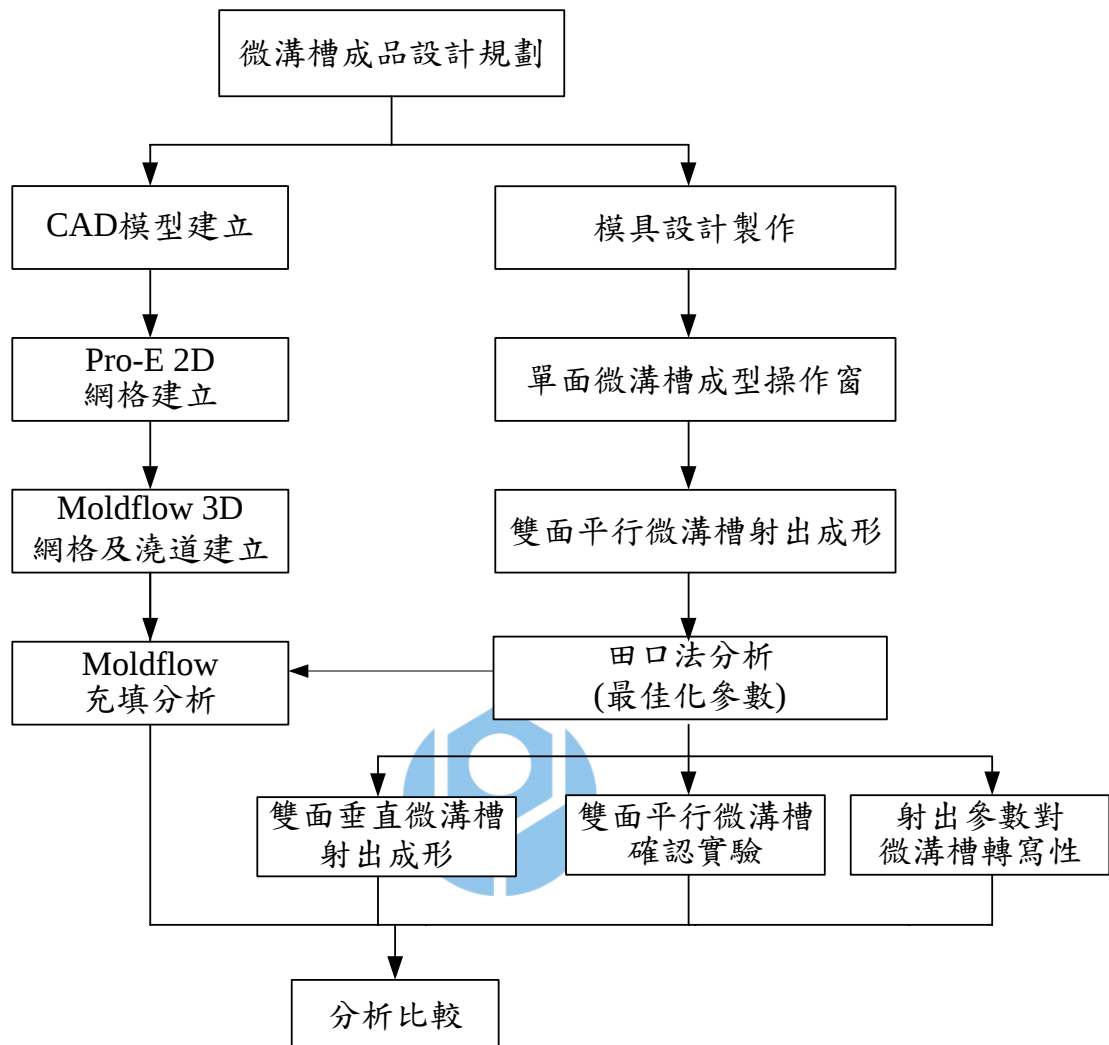


圖 4-1 實驗設計流程圖

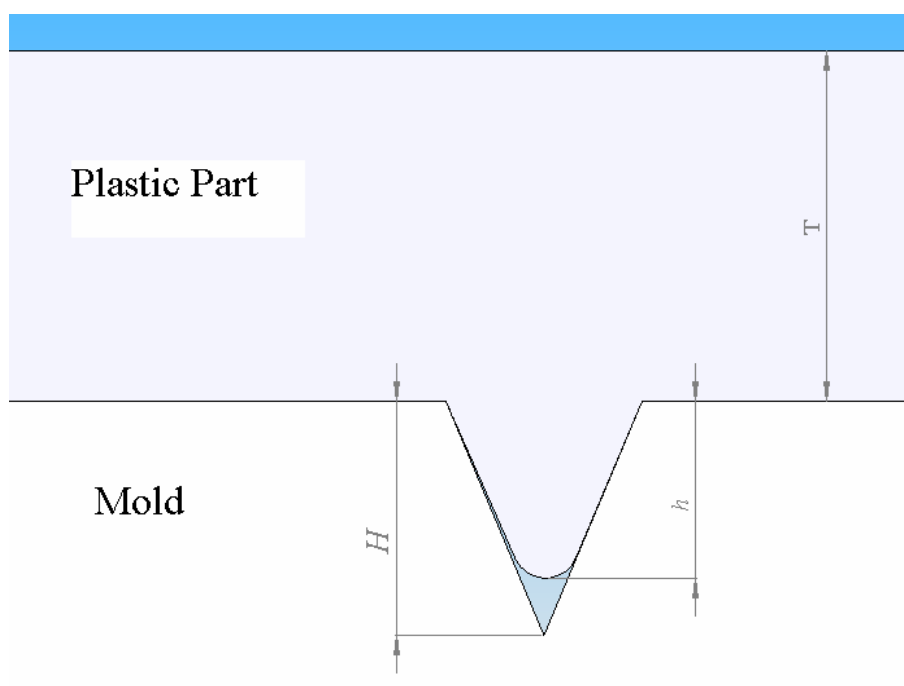


圖 4-2 微溝槽成形率示意圖

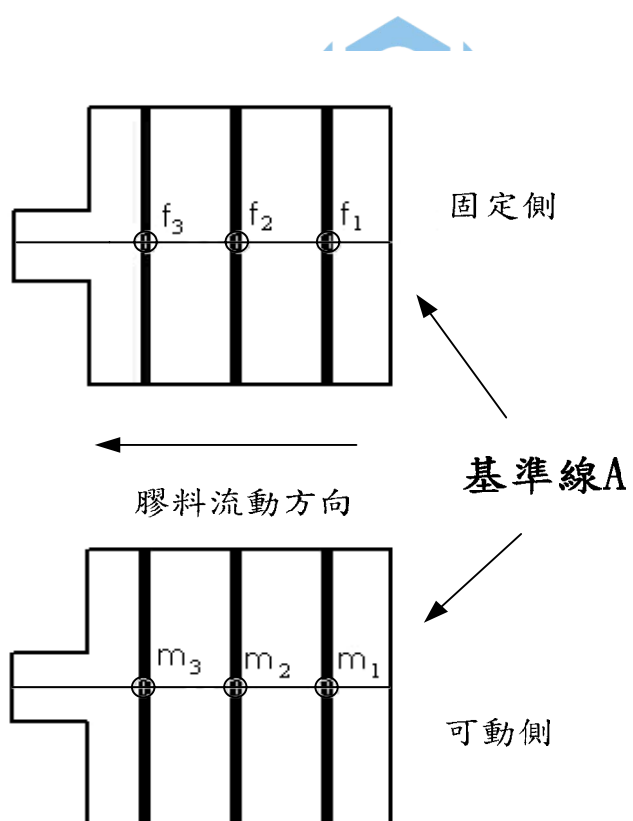


圖 4-3 雙面平行微溝槽量測點圖

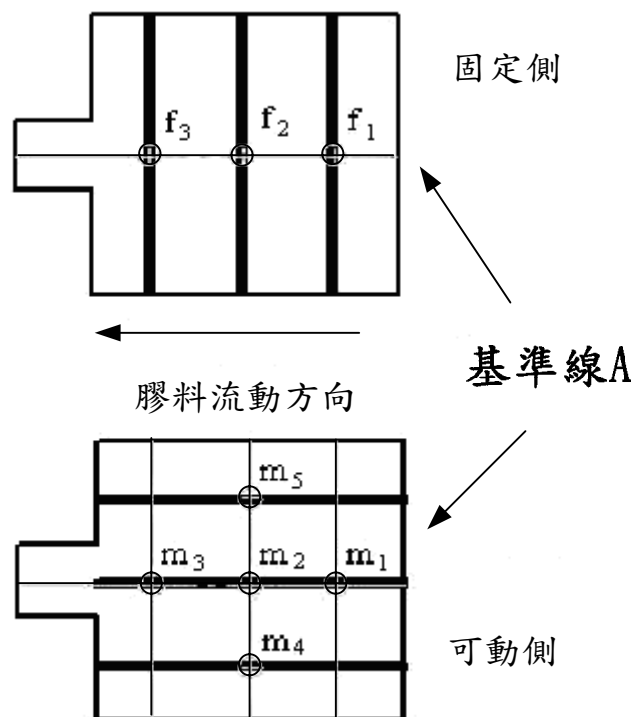


圖 4-4 雙面垂直微溝槽量測點圖

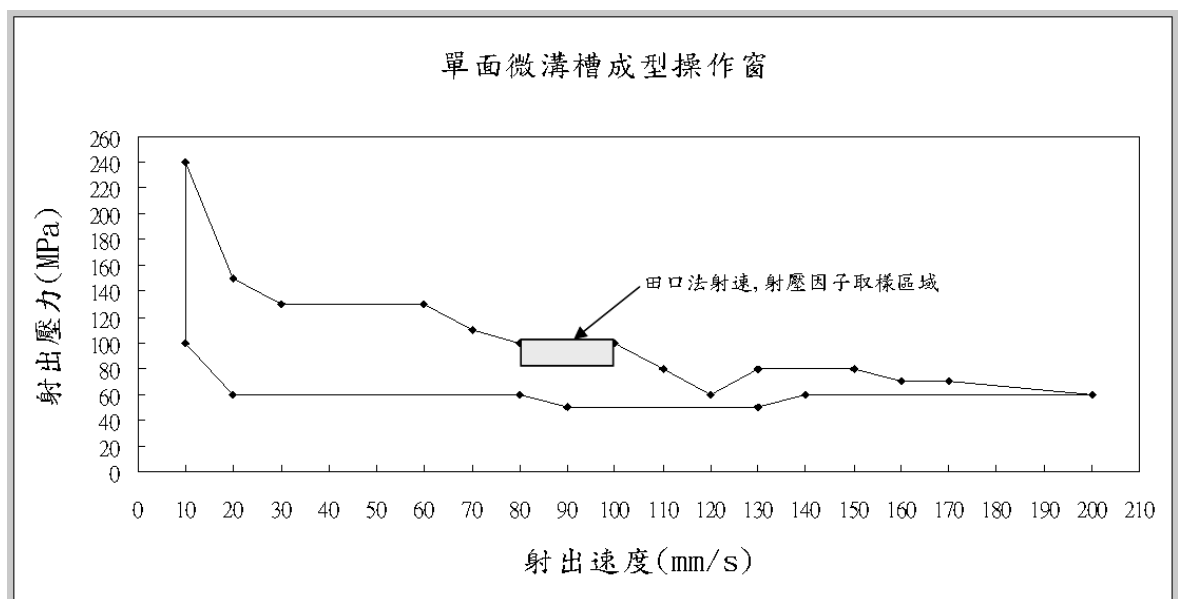


圖 4-5 單面微溝槽成型操作窗

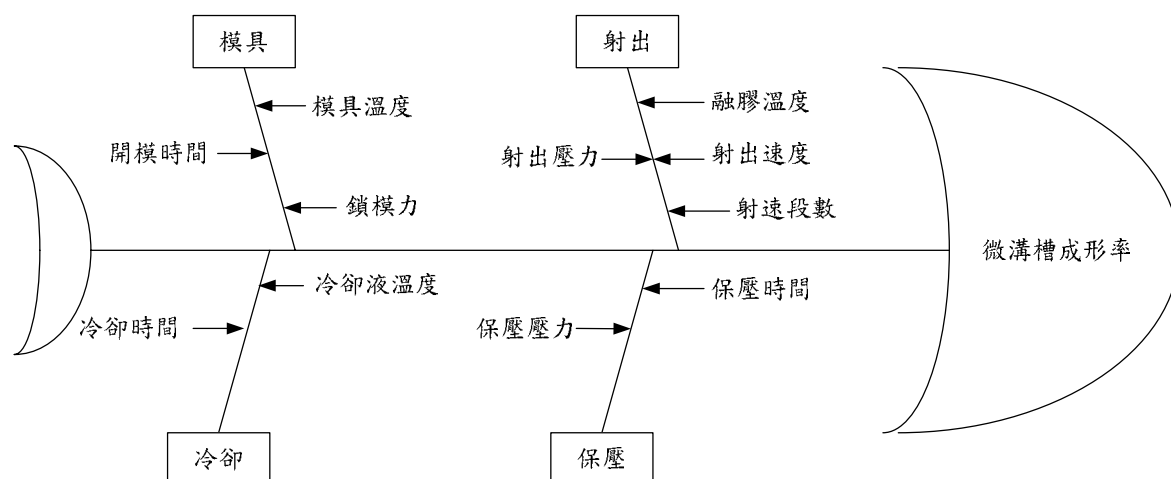


圖 4-6 微溝槽成形率魚骨圖

表 4-1 因子水準配置表

		水準一	水準二	水準三
A	模溫(°C)	70	80	90
B	射速(mm/s)	80	90	100
C	射壓壓力(MPa)	80	90	100
D	保壓壓力(MPa)	50	60	70

表 4-2 實驗直交表 $L_9(3^4)$

Exp.	A	B	C	D
1	70	80	80	50
2	70	90	90	60
3	70	100	100	70
4	80	80	90	70
5	80	90	100	50
6	80	100	80	60
7	90	80	100	60
8	90	90	80	70
9	90	100	90	50

第五章 實驗結果與討論

本章節將就四個實驗結果部份討論，實驗 A 為模流分析與短射實驗比較，實驗 B 為單面微溝槽成品之成型操作窗討論，實驗 C 為利用田口法找出雙面平行微溝槽成形率之最佳化及變異數分析，實驗 D 為將實驗 C 之最佳化參數因子組合設定於雙面垂直微溝槽之射出成形以比較兩者間之差異。

5.1 模流分析與短射實驗比較

本實驗分別就單面平行微溝槽，雙面平行微溝槽及雙面垂直微溝槽三種型式成品進行模流分析模擬，以利於後續實驗討論。使用軟體為 Moldflow 5.0，分析型式為 3D 實體。射出參數設定為雙面平行微溝槽之最佳參數組合，參數設定如表 5-1 所示，圖 5-1 為其模穴壓力對時間之 P-T 示意圖。在短射實驗中，將以螺桿位置設定來控制射出膠料的劑量來觀察膠料於模穴中流動情形，右側數據為螺桿位置。單面微溝槽的短射比較結果如圖 5-2 所示，雙面平行微溝槽的短射比較結果如圖 5-3 所示。雙面垂直微溝槽的短射比較結果，如圖 5-4 所示。

由以上比較圖可看出，模流分析在模擬模溫 90℃ 時之流動波前是可接受的，實際流動波峰與模擬值非常接近，但仍無法模擬出兩側流動波前超前的現象。不論在實際射出或模擬分析，都可發現右側膠料流動會稍微較左側快，其原因可能是流道方向與膠料進模穴流動方向垂直，而造成膠料由進澆點進入模穴時會受到另一往右側分力，而使右側膠料前進速度較左側快，而造成些許不對稱現象，可從模流分

析模擬的速度場圖中觀察得知，如圖 5-5 所示。此外，膠料在左右兩端流動時，受到三個面的剪切熱影響，造成兩邊的流速加快，在雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽的實際射出成形時甚而超過中間波前。

5.2 單面微溝槽之成型操作窗結果討論

在薄件射出成形中，射速與射壓參數的調整，影響膠料可否適當充填滿模穴，因此取射速和射壓作為成形視窗來觀察其特性。成型判別條件為充填滿模穴，不可有短射及明顯毛邊現象產生。表 5-3 為其參數設定值。圖 4-5 為其成型操作視窗。射速參數調整範圍為 10~200mm/s，每隔 10mm/s 為一調整單位，射壓參數調整範圍為 10~240MPa，每隔 10MPa 為一調整單位。實驗結果顯示(1)從成型視窗中可發現當膠料經由澆口進入模穴時，只要給予適當的速度，其所需的射壓便不需太大即可填充滿模穴。(2)在射速達到 120mm/s 時，其操作範圍最小，但當射速持續增加其操作範圍開始些微增加，其產生原因可能是因受限於進澆口面積所致。當膠料以高速欲進入模穴時，受限於進澆口面積不足，如同瓶頸一般而導致膠料速度下降，使其操作範圍如同較低速般。此膠料速度下降的現象，可從模流分析模擬的速度場圖中觀察得知，如圖 5-6 所示。

5.3 雙面微溝槽之成形率結果討論

關於雙面微溝槽的成形率將分成兩部份討論，一為應用田口法之

結果討論，另一為探討射速對成形率的影響。另外為考量微溝槽成形的穩定性，避免可動側端微溝槽因頂出時受損，導致實驗觀察不準確，因此以固定側微溝槽之成形率為主要評量基礎。

5.3.1 應用田口法於微溝槽成形率之最佳化

由於在三段微溝槽中，第三段微溝槽的成形率最低，所以本實驗將以固定側的第三段微溝槽(f_3)為評量基礎，圖 5-7 為第三段微溝槽(f_3)3D量測圖。以下將分別敘述最佳化參數求取與變異數分析。

(1) 最佳化參數組合

表 5-4 為直交表中各組尺寸量測值及微溝槽成形率(TRG)。將各組別之成形率分別帶入式(4-2)，即可算出其 S/N 值。表 5-5 為各組別之 S/N 值。每一因子中各水準的 S/N 值其平均值即為其 S/N 比，如 A 因子的第一水準 S/N 比：

$$(37.05935+37.26289+37.52205)/3=37.28143$$

而Delta值為每一因子的S/N比最大值減最小值，可以看出各因子效應的大小。以A因子效應為例， $38.4275-37.2814=1.1461$ 。將其排序後，其效應順序分別為模溫(A)，射速(B)，保壓壓力(D)及射出壓力(C)。表5-6為各因子S/N反應表，S/N反應圖如圖5-8所示。由此而可求出最佳因子參數組合為A3B3C2D3，表5-6之陰影部分所示為最佳因子參數組合。

(2) 變異數分析

變異數分析主要為瞭解各因子之間的變動性，而可以歸納出何者可納入誤差項內，進而判別每個因子的貢獻度。本分析計算將依4.6節所列之公式，以A因子(模溫)為例計算如下：

$$\begin{aligned}SS_T &= \left[(37.05935)^2 + \dots + (38.56484)^2 \right] - \frac{1}{9} [37.05935 + \dots + 38.56484]^2 = 2.23858 \\SS_A &= \frac{1}{3} (37.05935 + 37.26289 + 37.52205)^2 + \frac{1}{3} (37.70722 + 37.64252 + 37.87413)^2 \\&\quad + \frac{1}{3} (38.16112 + 38.55664 + 38.56484)^2 - \frac{1}{9} (37.05935 + \dots + 38.56484)^2 \\&= 1.995962 \\f &= 3 - 1 = 2 \\V_A &= \frac{1.995962}{2} = 0.997981\end{aligned}$$

其他因子計算結果如表 5-7 所示。由表可看出 C(射壓壓力)和 D(保壓壓力)兩項之變動率 V 最差，因此將其列為誤差項而進行第二次統合誤差，因此可求得：

$$\begin{aligned}V_{error} &= \frac{0.008094 + 0.0565}{4} = 0.016148 \\F_{test} &= \frac{0.997981}{0.016148} = 61.802\end{aligned}$$

第二次統合誤差計算結果如表 5-8 所示，由表可看出信心水準為 90 以上。

利用式 4-7，求出 A(模溫)，B(射速)及誤差因子的貢獻度

$$P_A = \frac{1.995962 - 2 \times 0.016148}{2.238582} \times 100 = 87.7192$$

$$P_B = \frac{0.178028 - 2 \times 0.016148}{2.238582} \times 100 = 6.51001$$

$$P_{error} = \frac{0.064592 - 4 \times 0.016148}{2.238582} \times 100 = 5.77083$$

由此可看出模溫為最顯著因子。

(3) 信心預測區間值

為確認以上數學模式是否正確，因此將針對所取之最佳參數組合作一預測值，若確認實驗值落於信心預測區間，則可證明數學模式無誤。最佳參數組合預測值其計算公式如下：

$$Y_{opt} = Y_f - 3\bar{Y} \quad (5-1)$$



其中

Y_{opt} ：最佳參數組合之分析數據預測值

$\bar{Y}$ ：所有分析數據的總平均值

Y_f ：最佳參數組合各因子之分析數據

所以預測值為

$$Y_{opt} = (38.42753 + 37.98701 + 37.84498 + 37.92864) - 3 \times \left(\frac{37.05935 + \dots + 38.56484}{9} \right) \\ = 38.73791$$

從附錄G【29】可查表得知 $F_{10;1;4}=4.54$

因此從式(4-9)可求得其信心區間

$$n_{eff} = \frac{9}{1+2+2+2+2} = 1$$

$$CI = \sqrt{\frac{4.54 \times 0.0164}{1}} = 0.273$$

所以其預測信心區間為 38.46491 至 39.010915 之間

以上為使用田口博士所建議使用的以 S/N 值為基礎的計算方式，若將計算值改為實際量測值而不經 S/N 轉換，則所得溝槽成形率預測值為 86.23%。

(4) 確認實驗

經將最佳參數組合設定於實際射出成形實驗結果，如表5-9所示，其微溝槽成形率為85.99%，其S/N值為38.689。由此可看出確認實驗值落於預測信心區間，可確認兩者的一致性。與最佳預測值86.23%比較，其誤差僅0.28%，其計算如下所示：

$$\frac{86.23 - 85.99}{86.23} \times 100\% = 0.28\%$$

(5) 討論

微溝槽的成形主要來自於膠料的壓力傳遞，雙面平行微溝槽的成形示意如圖 5-9 所示。由以上討論敘述可發現模溫為影響微溝槽成形率的最主要的因子，其主要由於當模具溫度越高時，越有利於融熔膠料的流動，也利於壓力的傳遞以充填微溝槽，此在陳【17】探討研究中有相同的結論。

5.3.2 射速對微溝槽成形率

為探討射速的影響性，所以將分別以不同射速進行實驗。此三段微溝槽的成形率對射速的關係如圖 5-10 所示。總體而言，第一段大於第二段微溝槽成形率，第三段微溝槽的成形率最低，此即表示離進澆點越遠，其成形率將越差。隨射速增加時，第一段微溝槽的成形率逐漸下降。此原因為當射速增加時，膠料會快速流過微溝槽，以抵達第二段射出開始的位置，因此相對之下，無法迅速提供充份的壓力充填微溝槽，所以造成此趨勢的發生。

5.4 雙面垂直微溝槽之成形率討論

關於雙面垂直微溝槽的成形率將分成兩部份討論，一為成形率討論，另一為探討射速對成形率的影響。

(1) 成形率討論

當微溝槽方向與流動波前方向一致時，因為流動阻力減少所以其充填性將可大幅提昇，雙面垂直微溝槽的成形示意圖如圖 5-11 所示。在使用雙面平行微溝槽的最佳參數設定下，與流動波前方向平行的垂直微溝槽其成形率皆可達到 95%以上，如圖 5-12 所示。圖 5-13 為成品上下微溝槽成形率比較圖。由圖形可看出垂直微溝槽的成形率變化不大，而平行微溝槽的各段成形率趨勢與雙面平行微溝槽型式相同。圖 5-14 為雙面平行與雙面垂直兩種型態在固定側的微溝槽的成形率比較圖。由圖可看出除在 1 號量測點上，垂直形式較平行形式的成形率稍高之外，其餘皆較低。此形成因素可能是由於與流動波前平行的可動側端微溝槽，因其流動阻力小，膠料流速快，使充填壓力不易傳

遞至固定側端的微溝槽內，所以其成形率較低。

(2)射速對成形率的影響

圖 5-15 為溝槽與進澆點距離對射速的比較圖。隨著射速增加，離進澆點較遠的第 3 量測點成形率亦隨之下降，此現象原因可能就是如前一小節所討論的，因射出速度增加，膠料雖較早到達，但射出壓力或保壓壓力若無增加，則無充份的壓力以支撐微溝槽的形成。關於射速對左右兩側及中間微溝槽成形率的影響如圖 5-16 所示。由圖可發現微溝槽的成形率隨射速增加而增高，但兩側微溝槽(m_4, m_5)的成形率則不一定，其反應曲線反而與平行微溝槽相似，此乃是由於兩側微溝槽的方向不與流動波前方向一致，因此在充填時，會有另一斜向力產生，所以其成形率反應曲線與平行微溝槽類似，卻與中間微溝槽不同。圖 5-17 為垂直微溝槽與平行微溝槽的OM圖。由圖可發現平行微溝槽的峰頂處成形平滑，而垂直微溝槽的峰頂成形不平滑。以垂直微溝槽(m_3)為例，圖 5-18、圖 5-19、圖 5-20 分別為其射速 80mm/s、90mm/s、100mm/s時之 3D量測圖，當射速越高時，流痕越明顯。由此可看出流痕形成原因極可能是因射速過高而壓力來不及傳遞所產生的。

5.5 微溝槽成形率與流動波前方向之討論

圖 5-21、圖 5-22 分別為流動波前與微溝槽方向之夾角關係圖，微溝槽於成品中不同位置會與流動波前形成不同斜向角(Oblique

angle between flow front and micro groove, ψ), 可用 $\cos \psi$ 值來解釋微溝槽方向與流動波前方向對微溝槽充填成形之影響。由本實驗結果發現，可以 $\cos \psi$ 為判斷微溝槽成形率在充填階段之容易程度。平行微溝槽方向和流動波前方向之斜向角為 90° ，即 $\cos \psi = 0$ ，因此不易充填成形；而垂直微溝槽之斜向角為 0° ，即 $\cos \psi = 1$ ，因此最易充填成形。但因微溝槽之成形率(TRG)亦受到充填及後續保壓等影響，因此TRG並非完全和 $\cos \psi$ 成正相關性，但 $\cos \psi$ 仍可用來判斷微溝槽在充填過程中是否容易充填之依據。



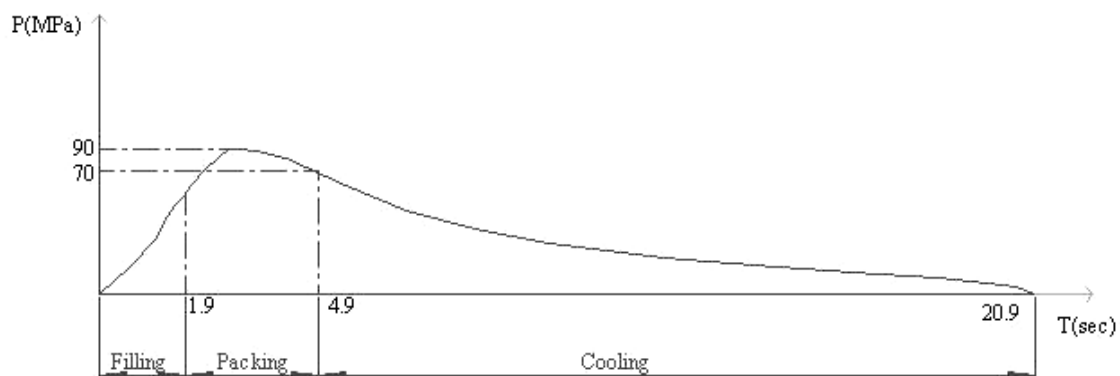


圖 5-1 最佳化參數 P-T 示意圖

表 5-1 雙面平行微溝槽之最佳參數設定表

模溫($^{\circ}\text{C}$)	膠料融溫($^{\circ}\text{C}$)	第一段射速 (mm/s)	第二段射速 (mm/s)
90	250	100	15
射壓壓力 (MPa)	保壓壓力 (MPa)	保壓時間(sec)	冷卻時間(sec)
90	70	3	16

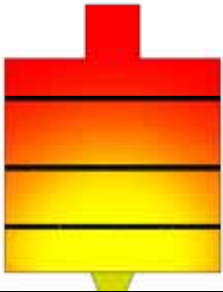
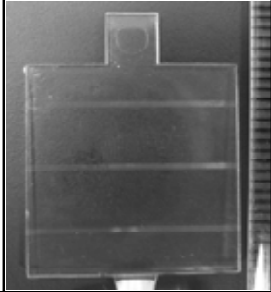
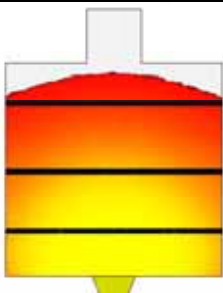
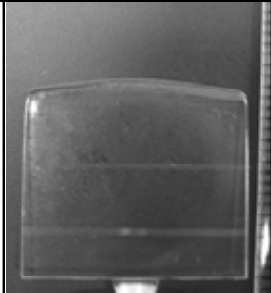
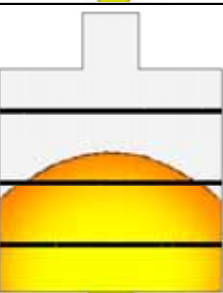
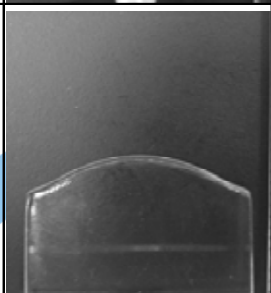
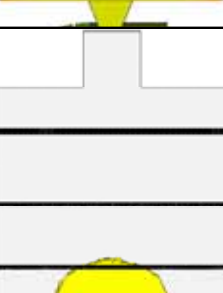
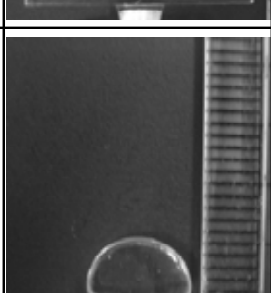
Moldflow Analysis			Injection Part(螺桿位置)		
	t=1.896s	100%		31.0mm	100%
	t=1.824s	85%		31.5mm	85%
	t=1.649s	50%		32.0mm	50%
	t=1.486s	10%		32.7mm	10%
螺桿初始位置為 35mm					

圖 5-2 單面平行微溝槽的短射與模流分析比較

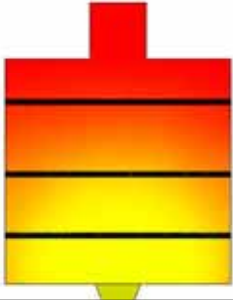
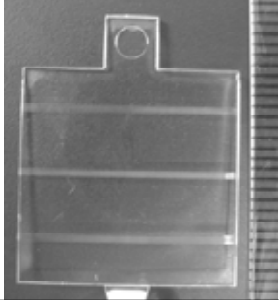
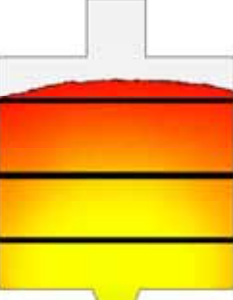
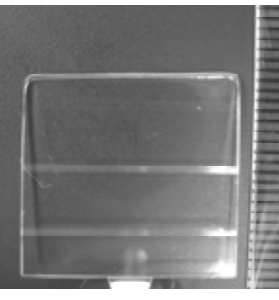
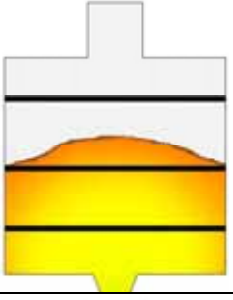
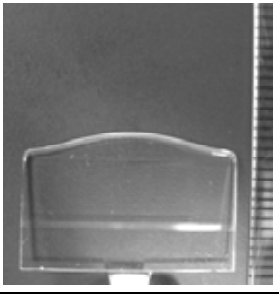
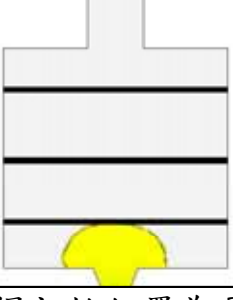
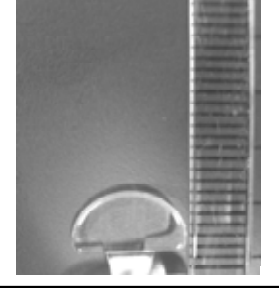
Moldflow Analysis			Injection Part(螺桿位置)		
	t=1.983s	100%		31.0mm	100%
	t=1.881s	85%		31.5mm	85%
	t=1.728s	50%		32.mm	50%
	t=1.474s	10%		32.7mm	10%
螺桿初始位置為 35mm					

圖 5-3 雙面平行微溝槽的短射與模流分析比較

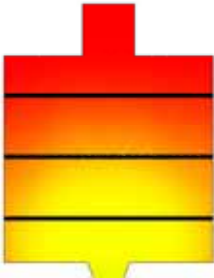
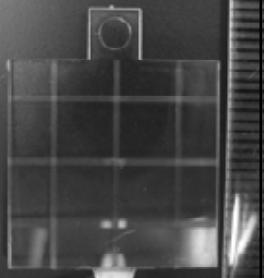
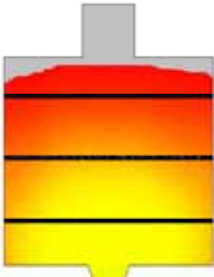
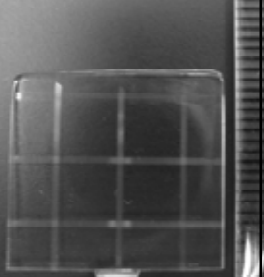
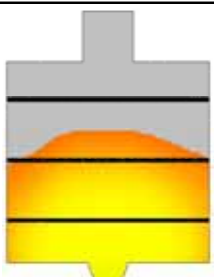
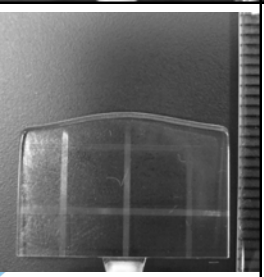
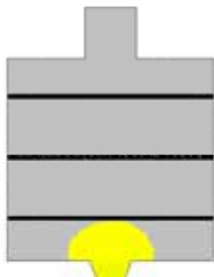
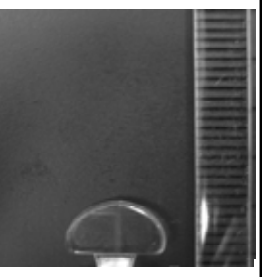
Moldflow Analysis			Injection Part(螺桿位置)		
	t=1.996s	100%		31.0mm	100%
	t=1.928s	85%		31.5mm	85%
	t=1.759s	50%		32.0mm	50%
	t=1.488s	10%		32.7mm	10%
螺桿初始位置為 35mm					

圖 5-4 雙面垂直微溝槽的短射與模流分析比較

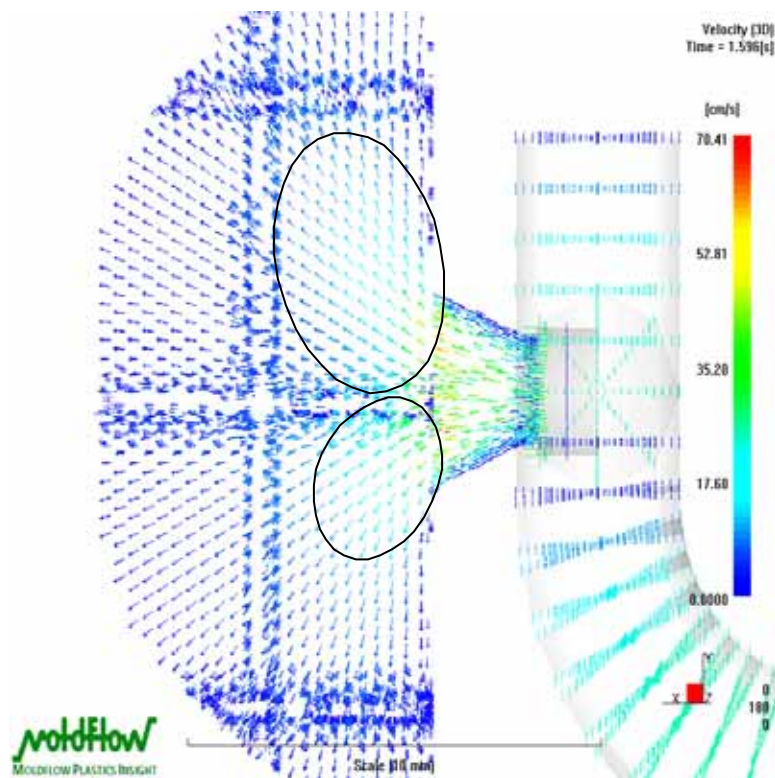


圖 5-5 進澆口左右兩側膠料流動速度圖

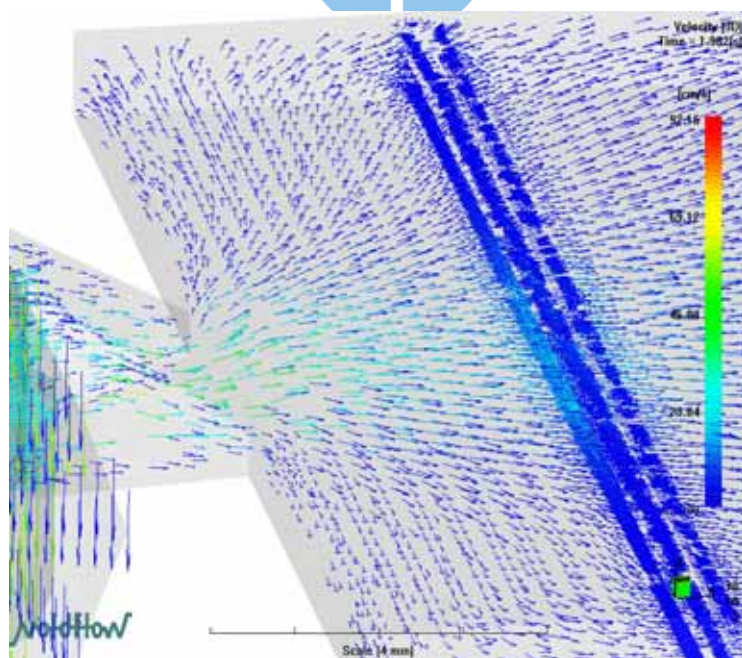


圖 5-6 膠料於進澆點流動速度變化圖

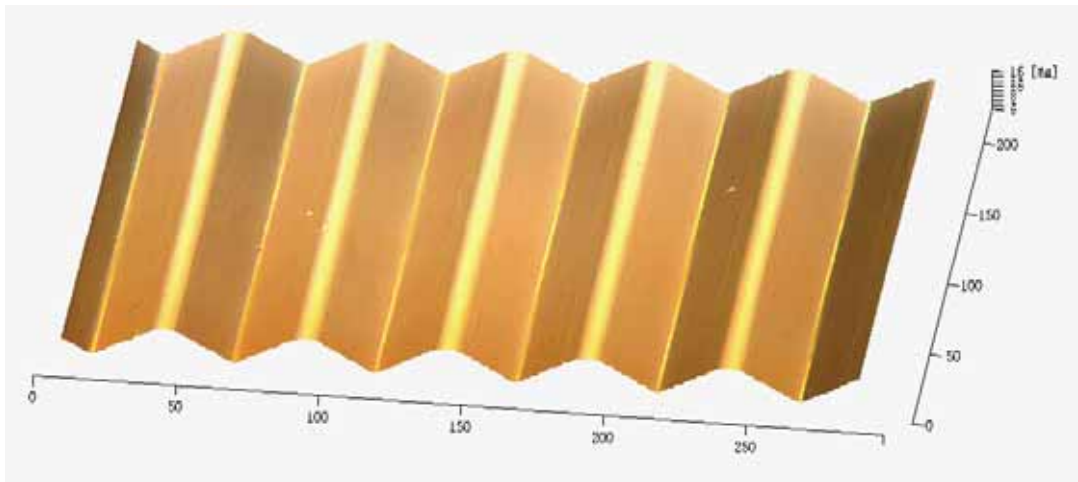


圖 5-7 第三段微溝槽(f_3)3D量測圖

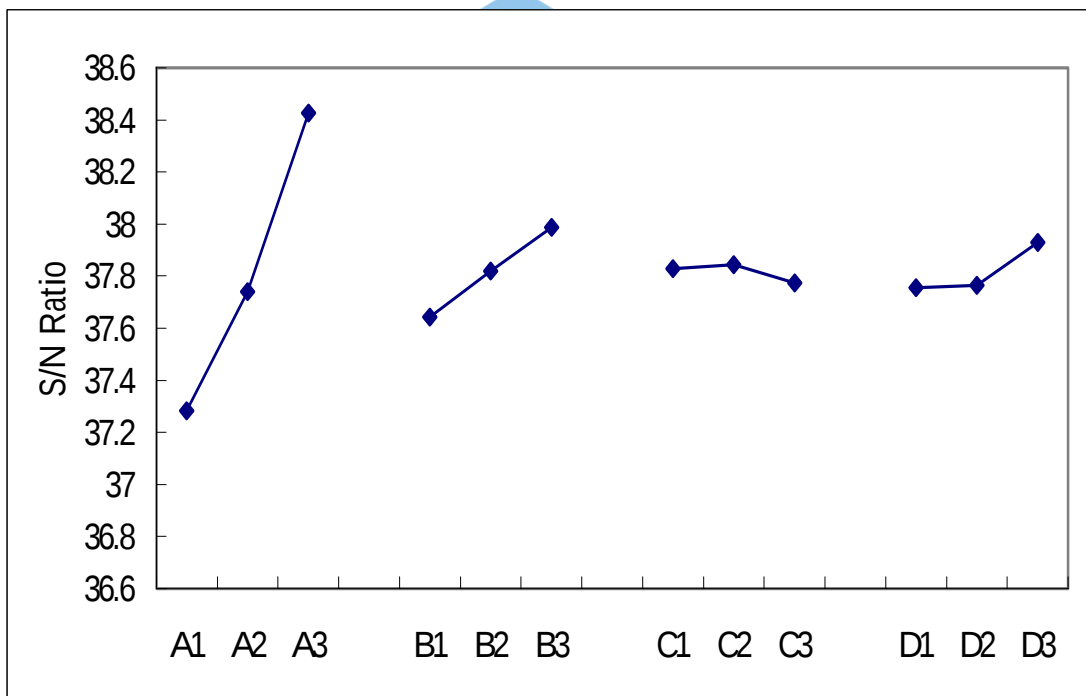


圖 5-8 S/N 反應圖

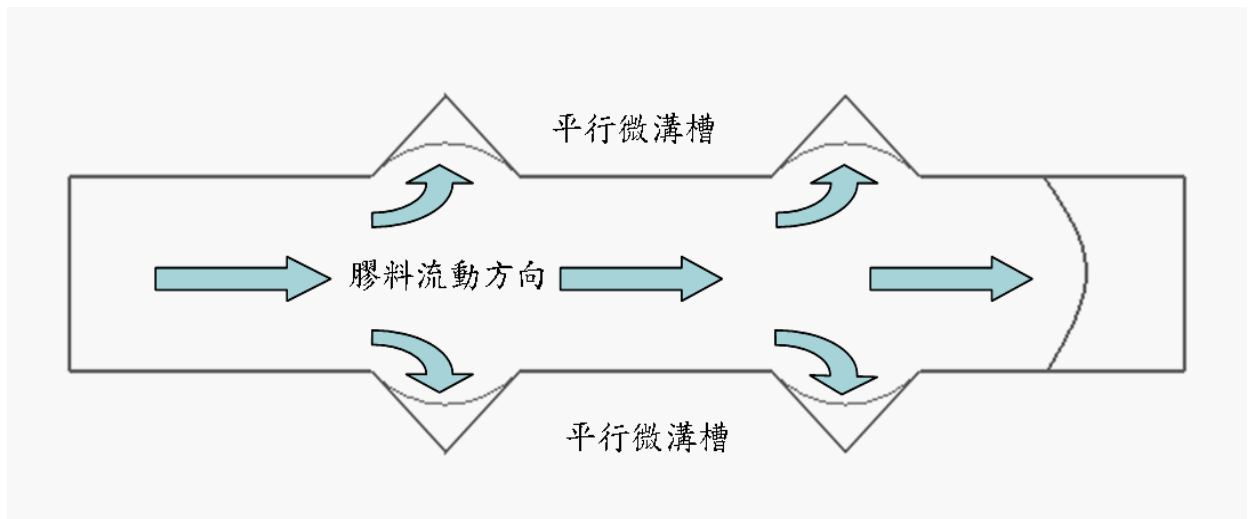


圖 5-9 雙面平行微溝槽充填成形示意圖

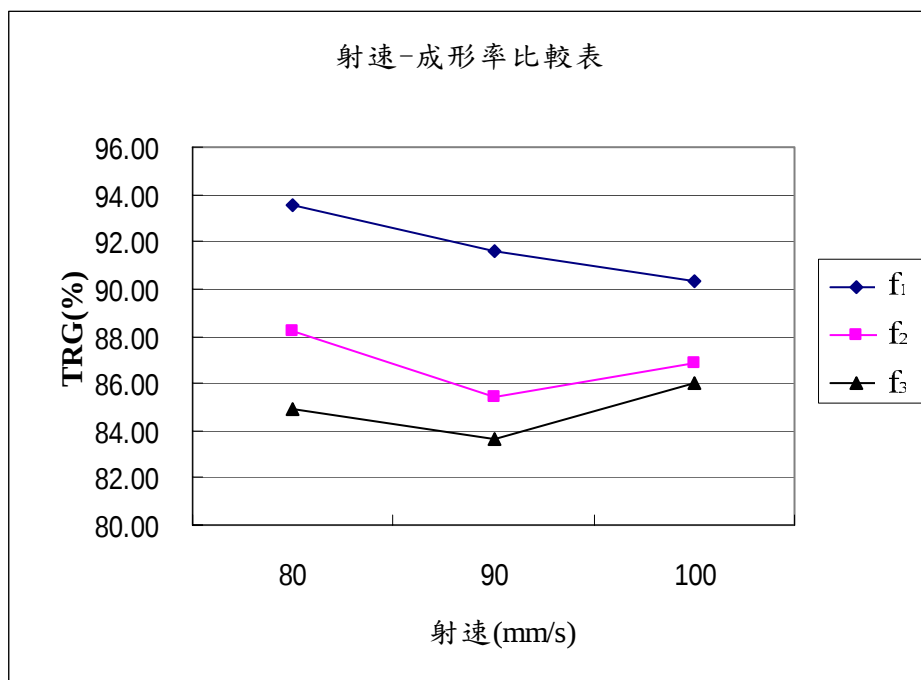


圖 5-10 射速對微溝槽成形率關係圖

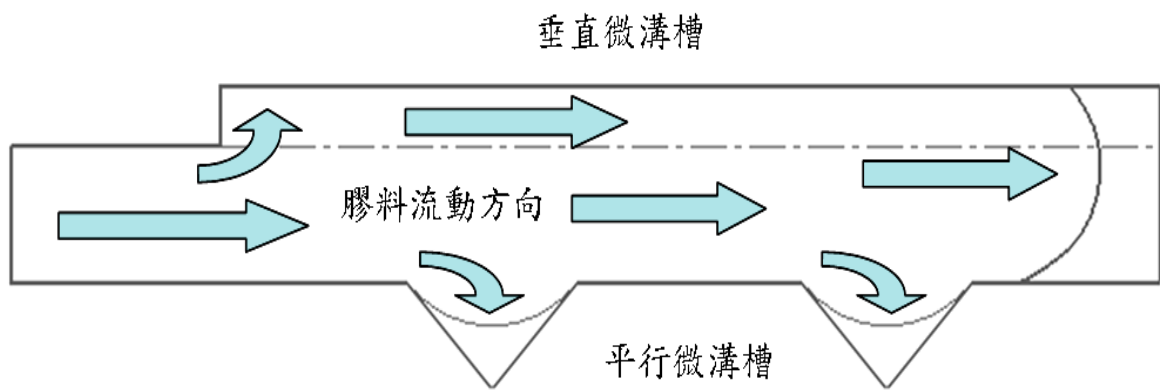


圖 5-11 雙面垂直微溝槽充填成形示意圖

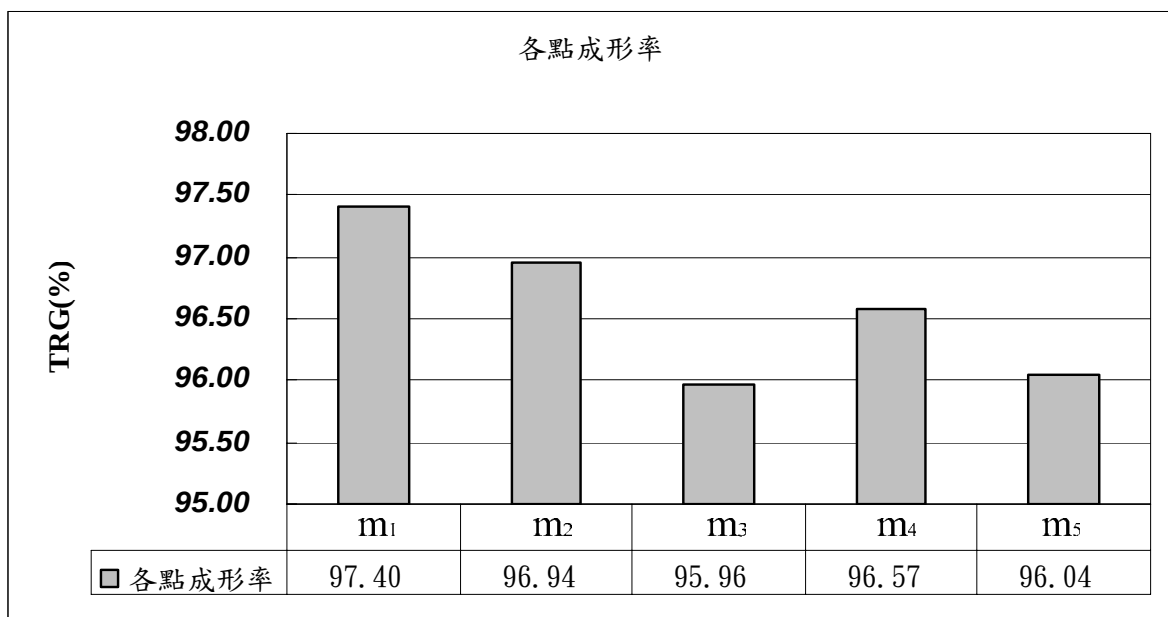


圖 5-12 垂直微溝槽各點成形率

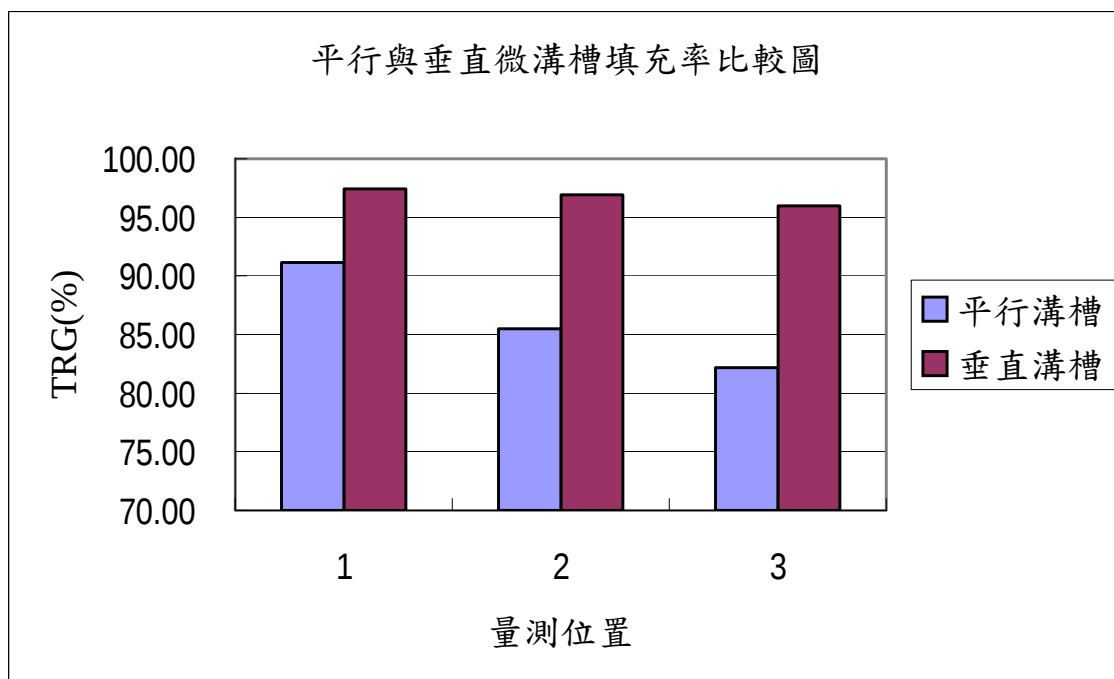


圖 5-13 平行與垂直方向微溝槽成形率比較圖

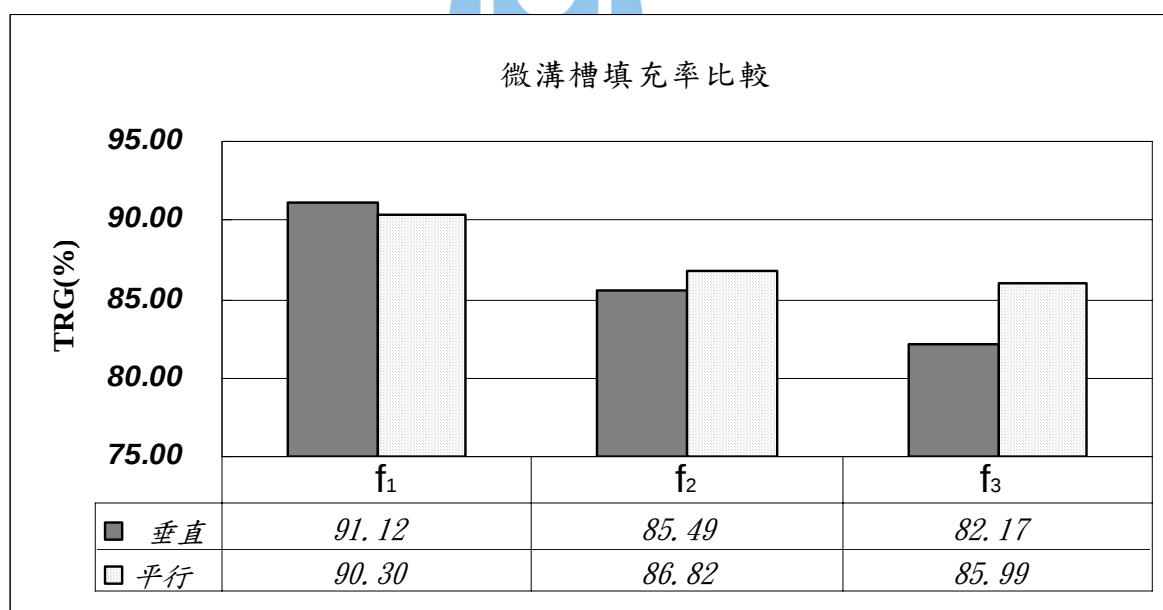


圖 5-14 垂直型式與平行型式之微溝槽成形率比較圖

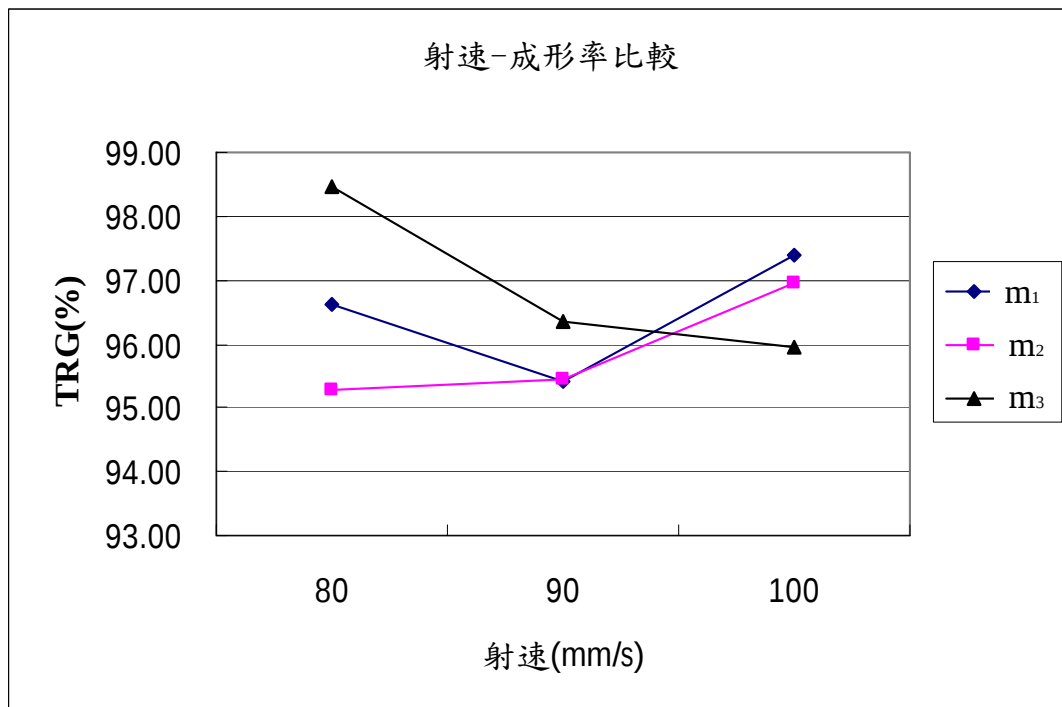


圖 5-15 微溝槽與進澆點距離對射速的比較圖

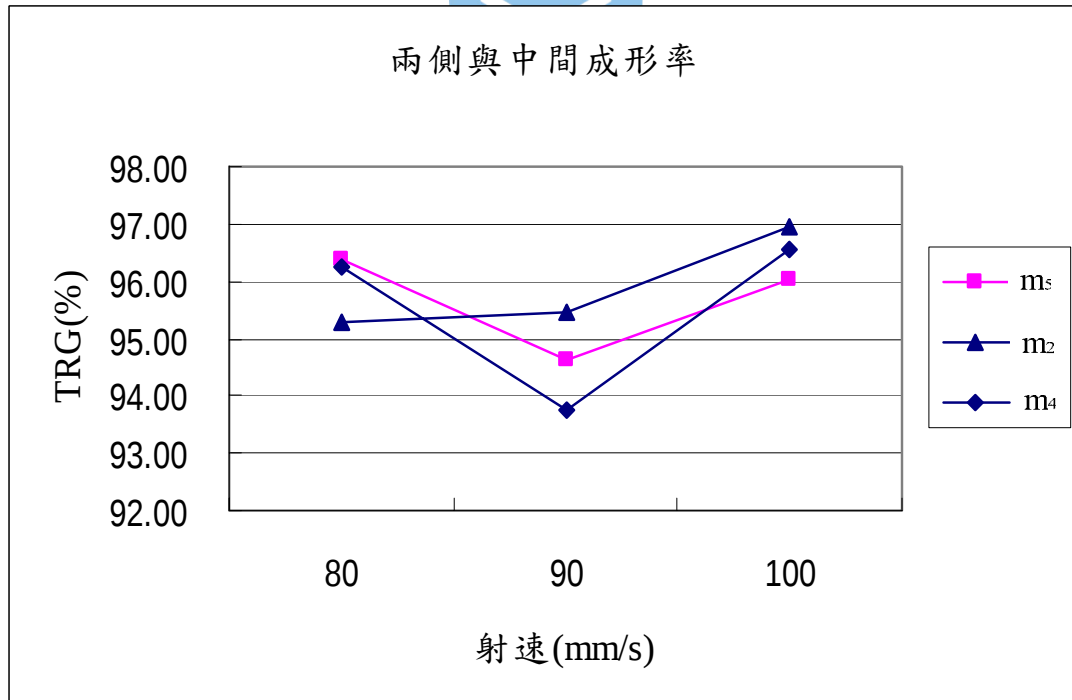
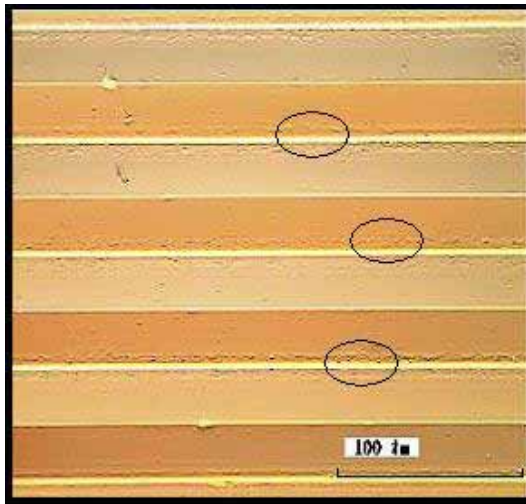
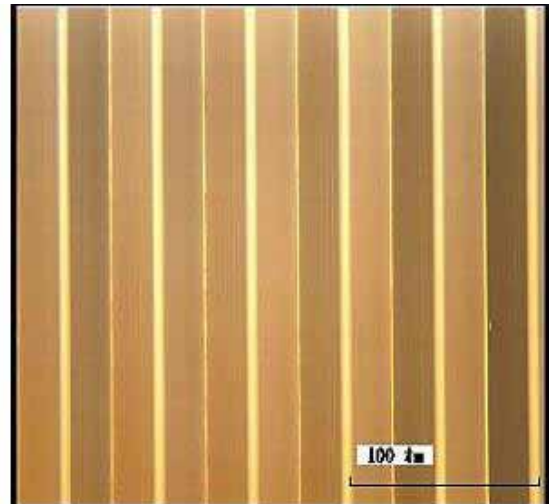


圖 5-16 射速對左右兩側及中間微溝槽成形率比較圖



垂直微溝槽OM圖



平行微溝槽OM圖

圖 5-17 垂直微溝槽與平行微溝槽 OM 圖(1000X)

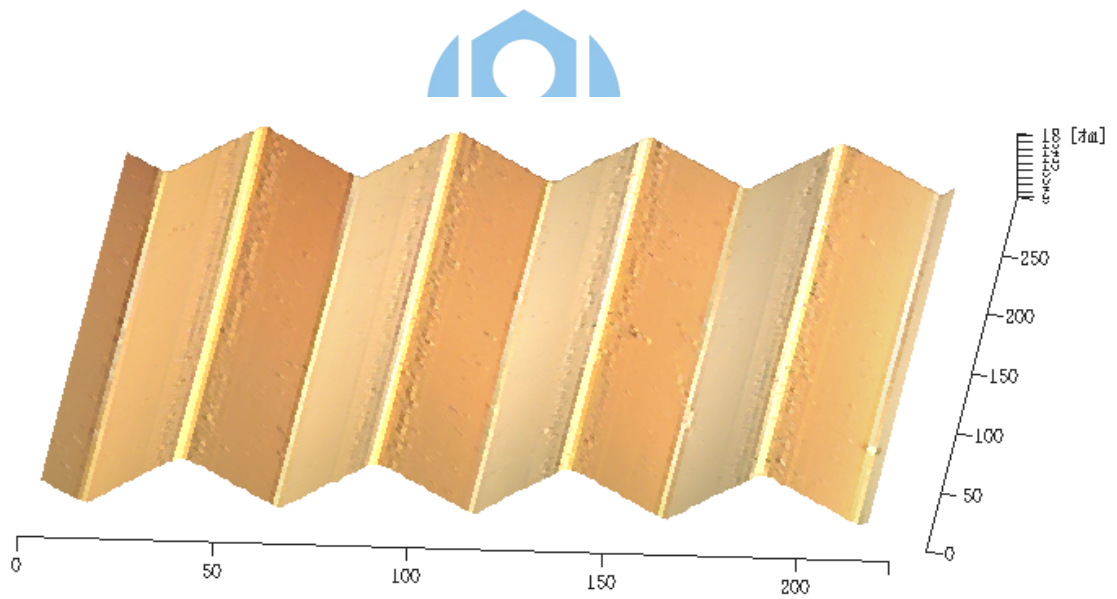


圖 5-18 垂直微溝槽(m_3)射速 80mm/s之 3D量測圖

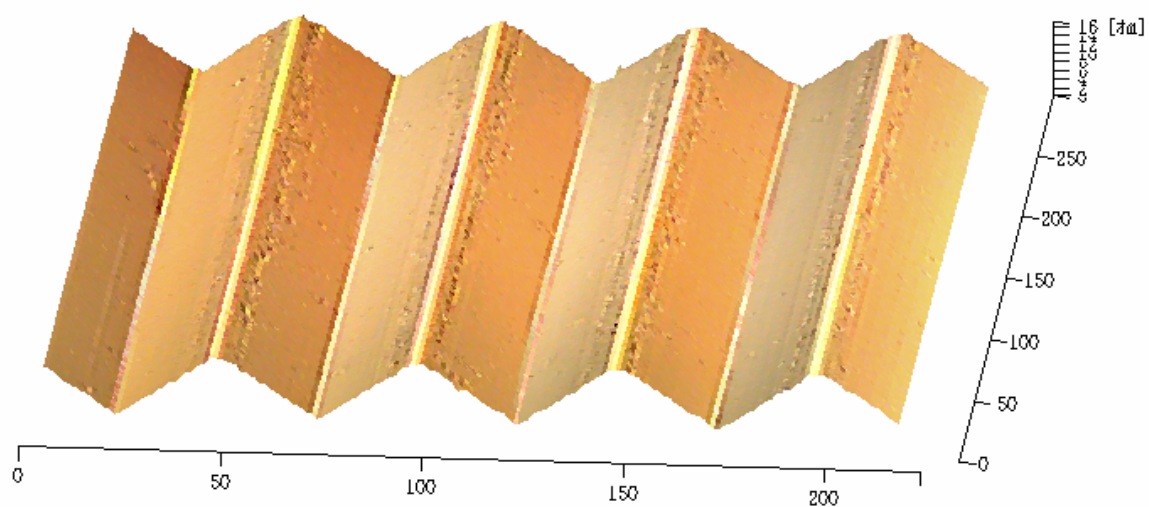


圖 5-19 垂直微溝槽(m₃)射速 90mm/s之 3D量測圖

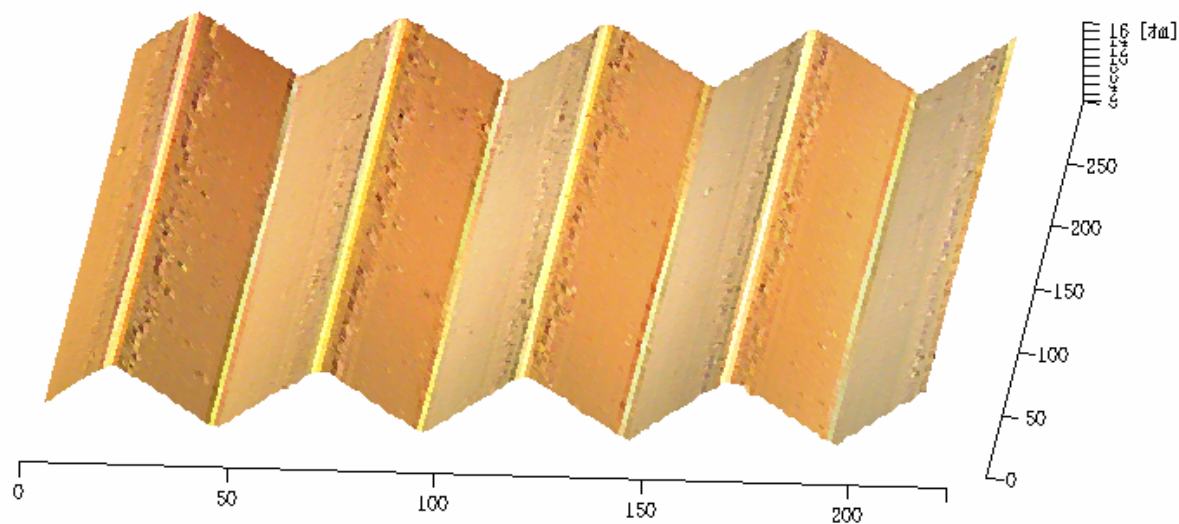


圖 5-20 垂直微溝槽(m₃)射速 100mm/s之 3D量測圖

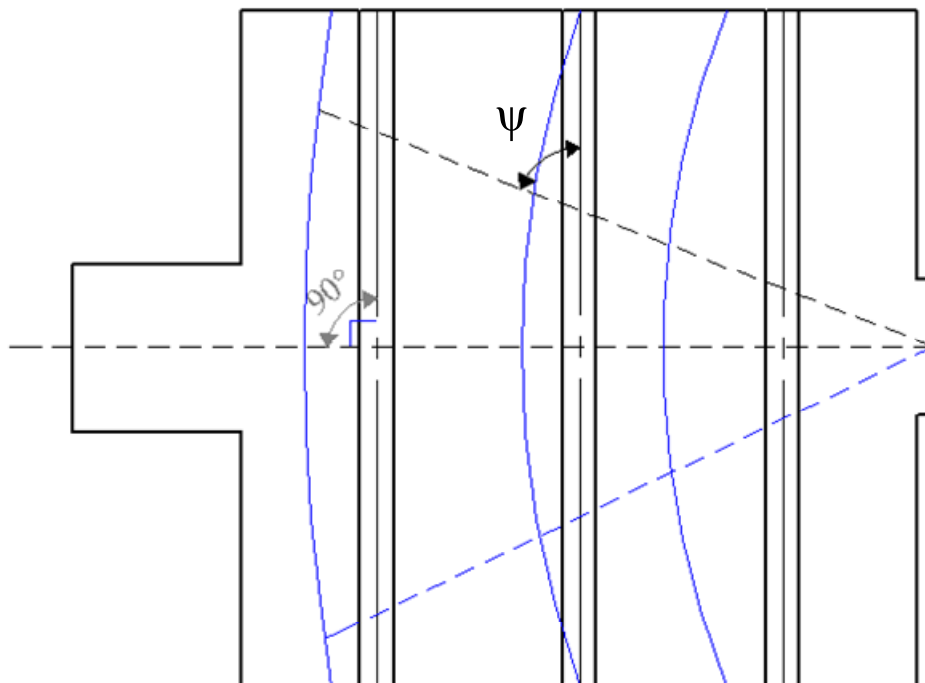


圖 5-21 平行微溝槽與流動波前之斜向角示意圖

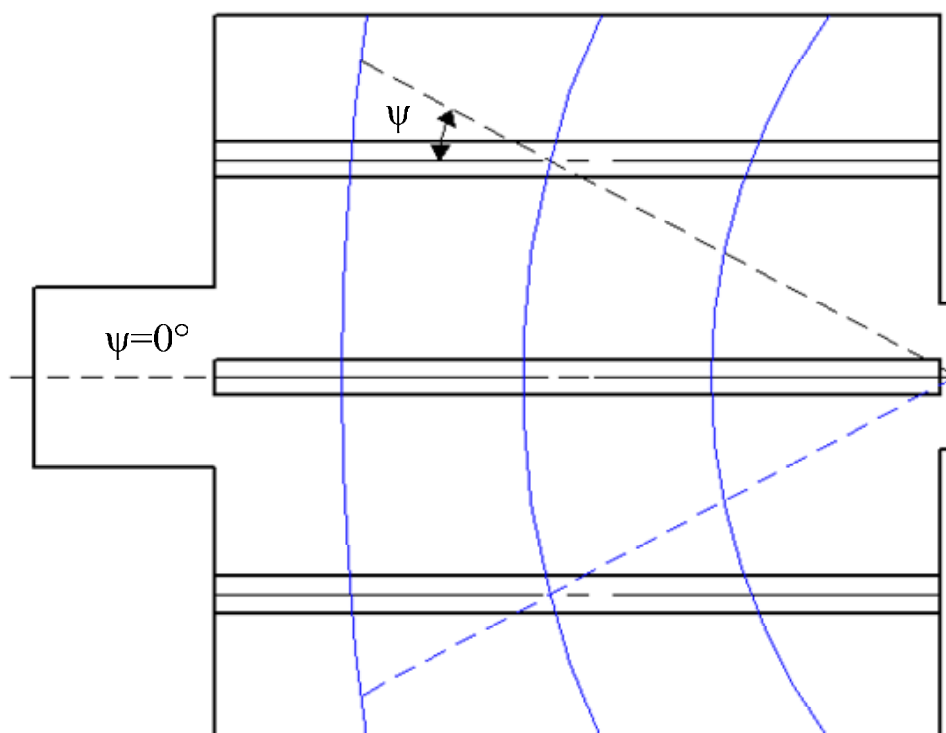


圖 5-22 垂直微溝槽與流動波前之斜向角示意圖

表 5-2 單面平行微溝槽之操作視窗參數設定表

模溫(°C)	膠料融溫(°C)	第一段射速 (mm/s)	第二段射速 (mm/s)
90	250	10~200(div. 10)	15
射壓壓力(MPa)	保壓壓力 (MPa)	保壓時間(sec)	冷卻時間(sec)
10~240(div. 10)	70	3	16

表 5-3 各組尺寸量測值及微溝槽成形率(TRG)

	1	2	3	ave.	TRG(%)
1	9.70	9.54	9.82	9.69	71.28
2	10.05	9.84	9.86	9.92	72.97
3	10.07	10.40	10.18	10.22	75.18
4	10.36	10.51	10.44	10.44	76.80
5	10.34	10.41	10.33	10.36	76.23
6	10.77	10.52	10.63	10.64	78.29
7	10.95	11.01	11.03	11.00	80.92
8	11.41	11.75	11.37	11.51	84.69
9	11.52	11.64	11.40	11.52	84.77
模具微溝槽尺寸(f_3)為13.59 μ m					

表 5-4 各組 S/N 值

Exp.	模溫	射速	射壓壓力	保壓壓力	TRG(%)	S/N
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	71.28	37.05935
2	1	2	2	2	72.97	37.26289
3	1	3	3	3	75.18	37.52205
4	2	1	2	3	76.80	37.70722
5	2	2	3	1	76.23	37.64252
6	2	3	1	2	78.29	37.87413
7	3	1	3	2	80.92	38.16112
8	3	2	1	3	84.69	38.55664
9	3	3	2	1	84.77	38.56484

表 5-5 各因子 S/N 反應表

	模溫	射速	射壓壓力	保壓壓力
	A	B	C	D
Level 1	37.28143	37.64257	37.83004	37.75557
Level 2	37.74129	37.82068	37.84498	37.76604
Level 3	38.42753	37.98701	37.77523	37.92864
Delta	1.146106	0.34444	0.069758	0.173066
Rank	1	2	4	3

表 5-6 第一次統合誤差

	f	SS	V	F_{test}	CONFIDENCE
A	2	1.99596	0.997981	*	*
B	2	0.17803	0.089014	*	*
C	2	0.00809	0.004047	*	*
D	2	0.05650	0.028249	*	*
ERROR	0	*	*		
TOTAL	8	2.23858			

表 5-7 第二次統合誤差

	f	SS	V	F_{test}	CONFIDENCE
A	2	1.99596	0.997981	61.80	99.9%
B	2	0.17803	0.089014	5.51	92.9%
C	POOLED				
D	POOLED				
ERROR	4	0.06459	0.01615		
TOTAL	8	2.23858	信心水準 90%以上		

表 5-8 最佳化參數實驗結果量測表(A3B3C2D3)

	1	2	3	平均值	TRG	S/N
溝槽尺寸 (μm)	11.63	11.45	11.98	11.69	85.99	38.689
模具微溝槽尺寸(f_3)為13.59 μm						



第六章 結論與未來研究方向

本研究完成含 V 型微溝槽之模具設計，並就單面微溝槽，雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽等三部份作模流分析與射出成形研究，同時針對雙面平行微溝槽成形部份，應用田口法以取得其最佳成形率，也探討對成形率影響最大的射出因子。最後探討流動波前與微溝槽之斜向角(ψ)對微溝槽充填成形的影響，並以微溝槽成形率(TRG)來說明不同射出參數之影響。

6.1 結論

由實驗結果，本研究之結論如下：

- (1) 單面微溝槽，雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽三種型式的射出成形短射皆與模流分析之充填成形(Filling)比對相近。
- (2) 在雙面平行微溝槽與雙面垂直微溝槽的射出成形時兩端波前有超過中間波前的現象。
- (3) 微溝槽成形受模溫影響最大，模溫越高，微溝槽的成形率越佳。
- (4) 在雙面平行微溝槽最佳化參數確認實驗中，變異數分析的微溝槽成形率(TRG)預測值與實際值誤差僅為 0.28%。
- (5) 射速為成形率次要影響參數，當微溝槽方向與流動波前方向垂直時，隨射速增大，離進澆點較遠處之微溝槽成形率亦隨之增加。而當微溝槽方向與流動波前方向平行時，隨射速增大，離進澆點較遠處之微溝槽成形率反而下降。
- (6) 垂直微溝槽成形率較平行微溝槽成形率整體平均高出 9.8%。

- (7)微溝槽方向與流動波前方向間之斜向角 ψ ，可利用 $\cos \psi$ 來判斷微溝槽在充填過程中是否容易充填之依據。

6.2 未來研究方向

針對本研究，對未來微溝槽射出成形研究提供幾點建議：

在模具設計方面：

- (1)關於雙面微溝槽之間的對位，可設計定位結構或可調整式結構，以防止加工或組裝誤差而產生錯位情況。
- (2)可考慮於模穴周邊三面改為滑塊結構，以避免因頂出時成品受力導致變形，甚至損傷微結構情況發生。
- (3)卻達到更佳成形率，可考慮使用射出壓縮成形或將模穴抽真空來提升其成形率。

在實驗設計方面：

- (1)雖然模溫為微溝槽成形主要因素，但須避免膠料本身因溫度過高而產生色偏現象。
- (2)在實驗設計部份，未來可再加入射出參數對成品翹曲影響的探討。
- (3)雙面垂直微溝槽的成形性，因其與流動波前方向皆不一致，因此可再加入射壓與保壓作為探討因子之一，以探討膠料充填時壓力傳遞的情形。
- (4)實驗中發現在垂直微溝槽的成形中其峰頂部，如圖 5-11 所示，會有流痕發生，此部份可再詳加探討其發生原因。

- (5) 利用其他前處理軟體如 HyperMesh 等，建立模型的 3D 網格以求得較好的網格品質，再匯入 Moldflow 執行分析模擬。
- (6) 當成品的微溝槽互相垂直時，須就射速與射壓仔細調整配合，以期使填充壓力可確實傳遞至模穴，以避免成品前後端成形率如圖 5-10、圖 5-15 所示的不一致的情形發生。



參考文獻

- 【1】 瀚宇彩晶股份有限公司，內部教育訓練資料，2004年。
- 【2】 林來誠，液晶顯示器背光技術動向，PIDA光連雙月刊，第12期，1997年11月。
- 【3】 Hagmann, P. and Ehrfeld, W. , “Fabrication of Microstructure of Extreme Structural Heights by Reaction Injection Molding”, Inter. Polymer Processing (1989).
- 【4】 Losch, K., “Thinwall molding : demanding Butrewarding”, Modern Plastic International , pp73-75 (1989).
- 【5】 Larsson, O. , Edlund, A. and Demerest, W. , “The TOOLVAC process cooling injection molds with CO₂ gas”, Proc. ANTEC 1997, Society of Plastics Engineers, Toronto Canada, pp954-959 (1997).
- 【6】 Masaki Yoshii, Hiroki Kuramoto and Yuuji Ochiai , “ Experimental Study of the Transcription of Minute Width Grooves by Injection Molding(II)”, Polymer Engineering and Science, pp1587-1593 (1998).
- 【7】 Kukla, C. , Loibl, H. and Detter, H. , “Micro-Injection Moulding- the aims of a project partnership”, Kunststoffe Plastic Europe, pp1331-1336 (1998).
- 【8】 Eberle, H. , “Micro-Injection Moulding - Mould Technology”, Kunststoff plast Europe, pp1344-1346 (1998).
- 【9】 Hecke, M. ,etal. , “Hot embossing - The Molding Technique for Plastic Microstructures,” Microsystem Technologies, Vol4, pp.122 (1998).
- 【10】 施垂延， “微射出成形技術於微機電系統之應用與研究”，雲林科技大學機械工程研究所碩士論文，1998年。

- 【11】 Becker, H. and Heim, Ulf. , “Hot Embossing as a Method for the Fabrication of Polymer High Aspect Ratio Structure” , Sensors and Actuators A, Vol.83, pp130 (2000).
- 【12】 沈永康、陳皇昌， “微射出點滴支撐架（微機電系統）之數值模擬分析” ，第四屆奈米暨微系統技術研討會，pp57-64，2000 年。
- 【13】 D’Amore, Alessandro , “Nano Injection Moulding”, Kunststoff plast Europe, Vol. 90, pp15-17 (2000).
- 【14】 廖俊郎， “射出壓縮成型對微型製品光學品質之影響研究” ，雲林科技大學機械工程研究所碩士論文，2000 年。
- 【15】 Yan, C. , Nakao, M. , Go, T. , Matsumoto, K. , Hatamura, Y. “Injection molding for micro structures controlling mold-core extrusion and cavity heat-flux”, Micro System Technologies, Vol.9, pp315 (2001).
- 【16】 粘世智、楊申語， “射出壓縮於精密塑膠零件成形應用” ，震雄工業月刊雜誌，pp2-3，2002 年 9 月。
- 【17】 陳宗平， “微射出模溫控制系統及微結構轉寫能力探討” ，國立臺灣大學機械工程學系碩士論文，2001 年。
- 【18】 蘇義豐， “射出壓縮成型於導光板之製程參數分析” ，大葉大學機械工程學系碩士論文，2002 年。
- 【19】 陳皇昌， “模具冷卻速度對微射出成形影響研究” ，淡江大學機械工程學系碩士論文，2002 年。
- 【20】 林昆燁， “射出壓縮成行於楔型版之研究” ，長庚大學機械工程學系碩士論文，2002 年。
- 【21】 蔡森章， “具微小結構或貫穿孔之薄肉及微射出成形研究” ，雲林科技大學機械工程學系碩士論文，2002 年。

- 【22】 林志峰，“矽模仁之微溝槽射出成形研究”，國立台灣科技大學機械工程系碩士學位論文，2003 年
- 【23】 陳仁浩、劉安誠，“微米和次微米塑膠結構的射出成形轉印性探討”，中國機械工程學會第二十屆全國學術研討會論文集，pp729-736，2003 年。
- 【24】 吳偉裕，“精密射出成型於導光板微結構之研究”，龍華科技大學機械工程學系碩士論文，2003 年。
- 【25】 張宏榮，“微射出壓縮成型於背光模組導光板微結構之研究”，龍華科技大學機械工程學系碩士論文，2004 年。
- 【26】 蔡俊欽，“導光板光學設計及製程之最佳化研究”，國立高雄應用科技大學模具工程系碩士論文，2004 年。
- 【27】 楊申語、粘世智、黃勝田，“具雙面微結構之超薄件微射出成形”，中國機械工程學會第二十一屆全國學術研討會，2004 年。
- 【28】 黃子健，“含微溝槽之矽模仁直接射出成形分析研究”，國立台灣科技大學機械工程系碩士學位論文，2004 年。
- 【29】 Ross, Phillip J.,“Taguchi Techniques for Quality Engineering”, Second Edition, McGraw-Hill (1996)

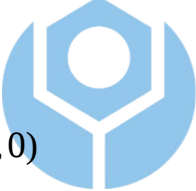
附錄 A 微溝槽幾何模型之參數化公式推導與證明

本研究中的微溝槽形狀由3條直線及2段圓弧，共5段線段所組成；為方便分析推導如圖2-1所表示的參數化微溝槽幾何模型，所以將溝槽形狀依其左右及高度差而分割成3部分，如圖A-1所示。若可利用此參數化的已知條件，而可將此5線段組成所需的8個點位置求出，便可完整的繪製出微溝槽的形狀亦可證明所取之參數無誤。

此5線段所組成的點位置取法如下：

[I] 求 a 點位置

由圖2-1之O點位置, 配合已知參數可得到圖A-2中之 a 點位置為：

$$\begin{aligned} a(X_a, Y_a) \\ X_a &= 0 + F \\ Y_a &= 0 \\ \Rightarrow a(X_a, Y_a) &= (0 + F, 0) \end{aligned} \quad (A1)$$


[II] 求 b 點位置

從式(A.1)及圖 A-2 可得 b 點位置

$$\begin{aligned} \alpha &= \theta - 90^\circ \\ \alpha_1 &= \alpha \\ X_b &= X_a + (C + R_1 \sin \alpha) \tan \alpha \\ Y_b &= Y_a - (C + R_1 \sin \alpha) \\ \Rightarrow b(X_b, Y_b) &= (X_a + (C + R_1 \sin \alpha) \tan \alpha, Y_a - (C + R_1 \sin \alpha)) \end{aligned} \quad (A.2)$$

[III] 求 O_1 點位置

從式(A.1)，(A.2)及圖A-3可得 O_1 點位置

$$\begin{aligned} X_{O_1} &= X_b + R_1 \sin \alpha \\ Y_{O_1} &= Y_a - C \\ \Rightarrow O_1(X_{O_1}, Y_{O_1}) &= (X_b + R_1 \sin \alpha, Y_a - C) \end{aligned} \quad (A3)$$

[IV] 求 C 點位置

從式(A.3)及圖 A-3 可得 C 點位置

$$\begin{aligned} \because \phi &= \phi_1 \\ X_c &= X_{O_1} - R_1 \sin \phi \\ Y_c &= Y_{O_1} - R_1 \cos \phi \\ \Rightarrow C(X_c, Y_c) &= (X_{O_1} - R_1 \sin \phi, Y_{O_1} - R_1 \cos \phi) \end{aligned} \quad (A4)$$

[V] 求 f 點位置

由圖 2-1 之 O 點位置及式(A.1)，配合已知參數可得到圖 A-4 中之 f 點位置

$$\begin{aligned} X_f &= X_a + A \\ Y_f &= 0 \\ \Rightarrow f(X_f, Y_f) &= (X_a + A, 0) \end{aligned} \quad (A5)$$

[VI] 求 O_2 點位置

由式(A.3)，(A.5)及圖A-4，配合已知參數可得到 O_2 點位置

$$\begin{aligned}
X_{O_2} &= X_{O_1} + B \\
Y_{O_2} &= Y_f - D = -D \\
\Rightarrow O_2(X_{O_2}, Y_{O_2}) &= (X_{O_1} + C, -D)
\end{aligned} \tag{A6}$$

[VII] 求 d 點位置

由式(A.6)及圖 A-3，配合已知參數可得到 d 點位置

$$\begin{aligned}
X_d &= X_{O_2} - R_2 \sin \phi \\
Y_d &= Y_{O_2} - R_2 \cos \phi \\
\Rightarrow d(X_d, Y_d) &= (X_{O_2} - R_2 \sin \phi, Y_{O_2} - R_2 \cos \phi)
\end{aligned} \tag{A7}$$

[VIII] 求 e 點位置



由式(A.5)及圖 A-4，配合已知參數可得到 e 點位置

$$\begin{aligned}
\overline{fO_2} &= \sqrt{(X_f - X_{O_2})^2 + D^2} \\
\overline{fe} &= \sqrt{\overline{fO_2}^2 - R_2^2} \\
\varepsilon &= \sin^{-1} \frac{R_2}{\overline{fO_2}} \\
\delta &= \tan^{-1} \frac{Y_f - Y_{O_2}}{X_f - X_{O_2}} \\
\gamma &= \delta - \varepsilon \\
X_e &= X_f - \overline{fe} \sin \gamma \\
Y_e &= Y_f - \overline{fe} \cos \gamma \\
\Rightarrow e(X_e, Y_e) &= (X_f - \overline{fe} \sin \gamma, Y_f - \overline{fe} \cos \gamma)
\end{aligned} \tag{A8}$$

經由以上八點位置的推導，可以得知在本研究中所設計的參數化溝槽幾何模型中，其圖形上各點與各個已知參數之間的關係，也由上列之推導中，證明此一圖形與參數的可行性。

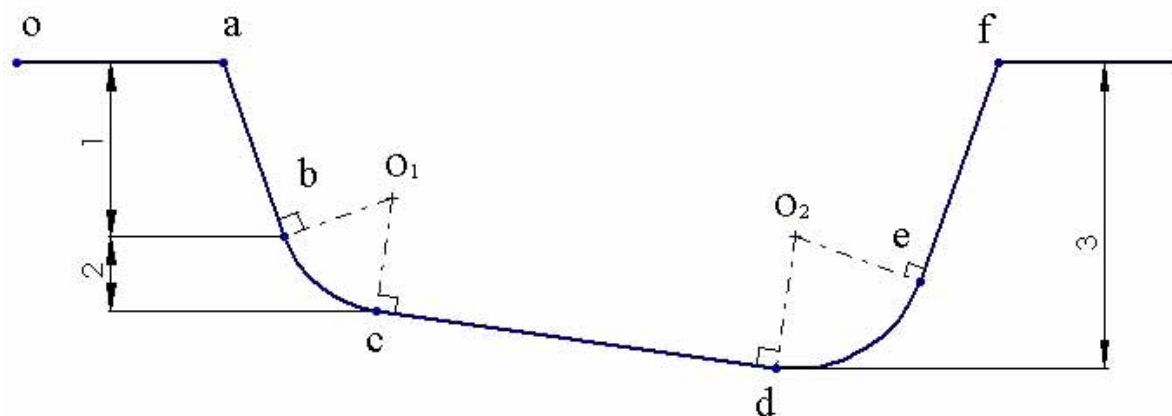


圖 A-1 參數化微溝槽分析區域圖

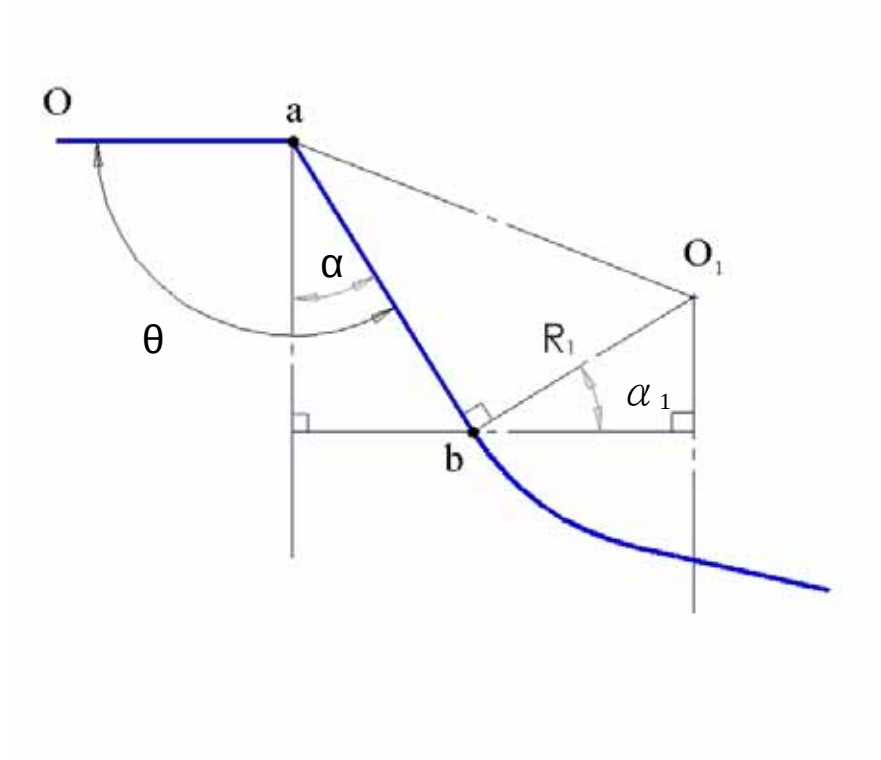


圖 A-2 推導區段 1

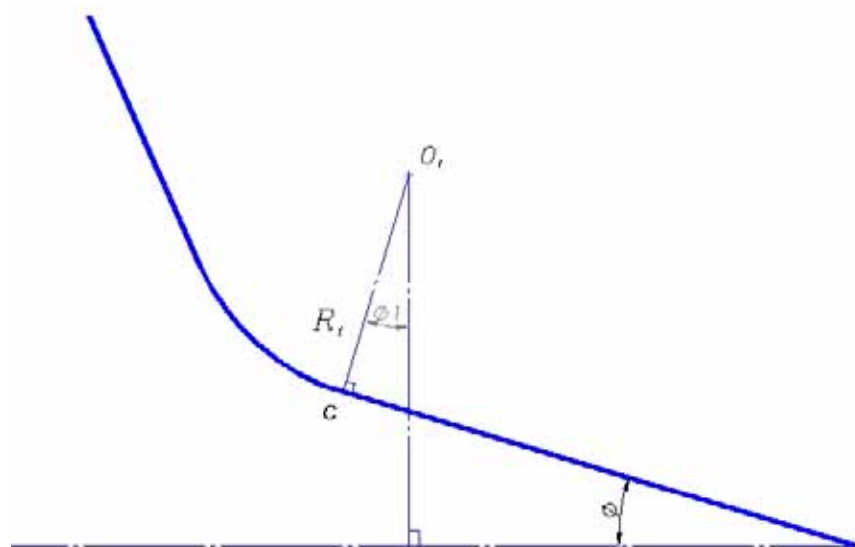


圖 A-3 推導區段 2

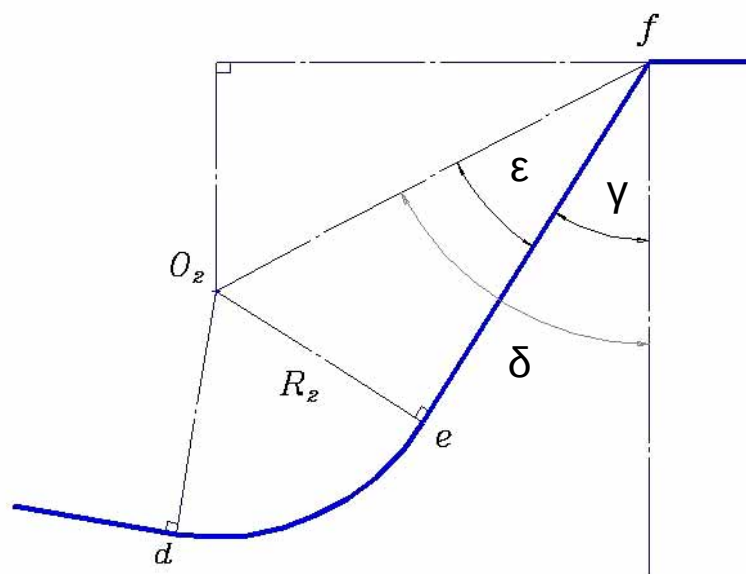
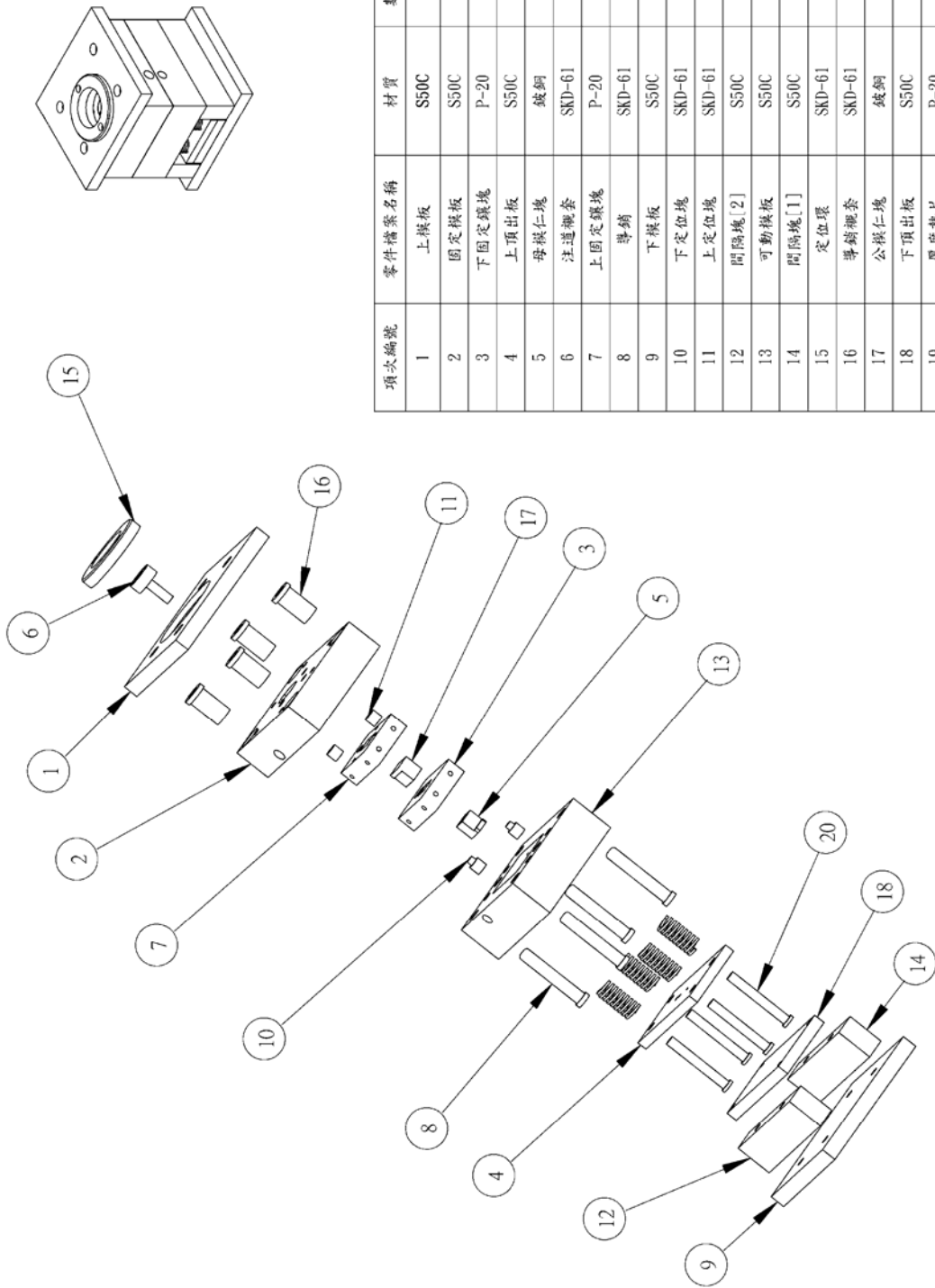


圖 A-4 推導區段 3

附錄 B 模具結構圖



項次編號	零件檔案名稱	材質	數量
1	上模板	S50C	1
2	固定模塊	S50C	1
3	下固定模塊	P-20	1
4	上頂出板	S50C	1
5	母模仁塊	鉻鋼	1
6	注道襯套	SKD-61	1
7	上固定模塊	P-20	1
8	導銷	SKD-61	4
9	下模板	S50C	1
10	下定位塊	SKD-61	2
11	上定位塊	SKD-61	2
12	間隔塊[2]	S50C	1
13	可動模塊	S50C	1
14	間隔塊[1]	S50C	1
15	定位環	SKD-61	1
16	導銷襯套	SKD-61	4
17	公模仁塊	鉻鋼	1
18	下頂出板	S50C	1
19	厚度墊片	P-20	1
20	回位銷	SKD-61	4

附録 C 曲面加工機(ULG-100)(工研院光電所)

□機械の主要数値

			ULG-100(H3)
移動量	X軸(研削主軸前後)		300mm
	Y軸(研削主軸上下)		75mm
	Z軸(ワーク主軸左右)		150mm
	C軸(ワーク主軸回転)		無制限
ワーク主軸(C軸)	超精密円筒形空気静圧軸受直径		80mm
	回転速度		10~1,500min ⁻¹
	ワーク面板(真空チャック)直径		100mm
	加工可能ワーク最大直径		120mm
研削主軸	超精密円筒形空気静圧軸受直径		32mm
	回転速度		5,000~40,000min ⁻¹
	軸端形状		コレットチャック取付形
送り速度	早送り速度(0.01μm単位)	X、Y、Z軸	450mm/min
		C軸	22,000deg/min
	加工送り速度(0.01μm単位)	X、Y、Z軸	0.1~450mm/min
		C軸	1~22,000deg/min
	早送り速度(0.001μm単位)	X、Y、Z軸	160mm/min
	加工送り速度(0.001μm単位)	X、Y、Z軸	0.1~160mm/min
最小設定単位		X、Y、Z軸	0.000001mm
		C軸	0.0001deg
NC制御装置・制御軸数	FANUC Series 15-MB	同時制御軸数	4軸(X、Y、Z、C)
機械本体質量	(制御盤含む)		2,600kg

附錄D TOSHIBA EC60N-1.5Y 全電式射出機

(<http://www.toshiba-machine.co.jp>)

ITEM		Unit	EC60N
Injection Unit Code			i1.5Y
Screw Diameter		mm	25
Injection Weight	PS	g	51
	PE	g	40
Injection Pressure		MPa	245
		kg/cm ²	2500
Injection speed		mm/s	200
Injection speed (High speed)*		mm/s	300
Plasticizing Capacity	PS	kg/h	25
Clamping Force		kN(tf)	585(60)
Distance Between Tie Rods H×V		mm	375×360
Clamp Stroke		mm	300
Open Daylight (Max)		mm	670
Machine Dimensions	L×W×H	m	3.7×1.2×1.6

Note:

1. Due to continuous improvement, specifications are subject to change without notice.
2. Max. injection pressure and max. holding pressure are power of injection unit, not resin pressure. They are limited according to molding condition.
3. Values marked with* vary with optional High-speed injection unit.
4. 1MPa=10.2kgf/cm², 1kN=102kgf, 1mN=0.102gf

附錄 E VK8550

規 格

型號			控制器：VK-8550/ 顯微鏡模組：VK-8510			
15吋監視器上倍率			200	400	1000	2000
接物鏡倍率			10倍	20倍	50倍	100倍
觀察 / 量測範圍	彩色	水平：μm	1390	695	278	139
		垂直：μm	1053	526	210	105
	單色	水平：μm	1479	739	295	147
		垂直：μm	1109	554	221	110
動作距離 (mm)			16.5	3.1	0.54	0.3
開口數			0.3	0.46	0.8	0.95
高度量測範圍 (mm)			7			
高度量測解析度 (μm)			0.01			
高度方向重複精度 σ (μm)			0.03*			
水平方向重複精度 3σ (μm)			• 0.03*2			
螢幕解析度	彩色		962X729			
	單色		1024X768			
畫格記憶體	彩色影像用		1024X768X8bit			
	單色影像用		1024X768X8bitX3			
	高度用		1024X768X20bit			
畫格速率	彩色		6 Hz			
	單色		9 Hz			
	線及膜厚		1000 Hz			
光學變焦			2倍 4倍			
數位變焦			2倍 3倍			
量測用雷射光束光源	波形		半導體雷射			
	最大輸出		685nm			
	等級		0.45mW			
	燈泡		IEC 等級 2			
觀察用光源	燈泡壽命		50W 鹵素燈泡			
	色溫		2000 小時 (平均)			
	影像擷取元件		3000°K (最大)			
攝影機	增益		13吋彩色 CCD 影像感測器			
	電子快門		可調整			
	白色平衡		可調整			
	Y伽馬線		3200° K/ 自動 / 手動 / 按下一般定			
最小樣品尺寸	高度		供應			
	尺寸		28mm*3			
Z平台	行程		直徑 318mm、可全面觀察 *4			
X-Y平台	行程		28mm			
	耐負荷		70X70mm			
θ平台	旋轉		5kg			
輸出 (影像)	類比 RGB		360°			
輸出 (SCSI)	依據 SCSI-II		1024 × 768 像素、60.6Hz (垂直)、48.4Hz (水平)			
輸出 (AC)	輸出 (AC)		半雙工 50 針			
電源	電源電壓		2 頻道、最高 2A			
	消耗功率		100 至 240VA ± 10 %			
重量	顯微鏡模組		300VA 以下			
	控制器		大約 22kg*5			
			大約 9.5kg			

1. 透過 100 倍接物鏡量測 2 μm 的標準目標高度差時。2. 透過 100 倍接物鏡的自動高度量測功能量測 1 μm 寬的圖案時。3. 藉由墊片或其他東西可量測 100mm 或更高的樣品。4. 可直接使用 12 吋 (300mm) 晶片，進行全面觀察。如果使用墊片，可量測直徑 20 吋 (500mm) 或更大的樣品。5. 量測頭和基座的總重量。取下量測頭時單體重量為大約 8.5kg。* 欲知詳細資訊，請與最近的 KEYENCE 營業處聯絡。

附錄 F Röhm GmbH PLEXIGLAS 8N (PMMA)

Product Information



PLEXIGLAS® 6N Molding Compound PLEXIGLAS® 7N Molding Compound PLEXIGLAS® 8N Molding Compound

Product Profile:

PLEXIGLAS® 6N, PLEXIGLAS® 7N and PLEXIGLAS® 8N are molding compounds based on polymethyl methacrylate (PMMA).

The special properties of these standard PLEXIGLAS® molding compounds are:

- good flow
- high mechanical strength, surface hardness and abrasion resistance
- high light transmission
- excellent weather resistance
- free colorability due to crystal clarity

The following properties of PLEXIGLAS® N molding compounds change with increasing grade number:

- improved mechanical properties
- increased heat deflection temperature
- reduced flow

Application:

PLEXIGLAS® molding compounds of the N series are particularly suitable for injection molding of optical and technical items.

Uses of PLEXIGLAS® N molding compounds: fiber optics, lighting fixture covers, automotive lighting, instrument cluster covers, optical lenses, displays, etc.

Processing:

PLEXIGLAS® 6N, PLEXIGLAS® 7N and PLEXIGLAS® 8N can be processed on injection molding machines with 3-zone general purpose screws for engineering thermoplastics. Recommended processing conditions:

Predrying temperature:	PLEXIGLAS® 6N	max. 85 °C
	PLEXIGLAS® 7N	max. 93 °C
	PLEXIGLAS® 8N	max. 98 °C
Predrying time in desiccant-type drier:		2 - 3 h
Processing temperatures:	melt temperature	220 - 260 °C
	cylinder temperature	220 - 260 °C
	mold temperature	60 - 90 °C

Physical Form/ Packaging:

PLEXIGLAS® molding compounds are supplied as pellets of uniform size, packaged in two-ply, 25 kg polyethylene bags or in 500 kg boxes with PE lining; other packaging on request.

Ref. No.: F221-1 September 1996

Page 1 of 2
Product No. E.00

Properties:

	Unit	Standard	PLEXIGLAS® 6N	PLEXIGLAS® 7N	PLEXIGLAS® 8N
Mechanical properties					
Tensile modulus (1 mm/min)	MPa	ISO 527	3200	3200	3300
Stress at break (5 mm/min)	MPa	ISO 527	67	73	77
Strain at break (5 mm/min)	%	ISO 527	3	3.5	5.5
Charpy impact strength (23°C)	kJ/m²	ISO 179	20	20	20
Thermal properties					
Vicat softening temperature (B/50)	°C	ISO 306	96	103	108
Glass transition temperature	°C	IEC 10006		110	117
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	°C	ISO 75		100	103
Temp. of deflection under load (1.8 MPa)	°C	ISO 75		95	96
Coeff. of linear therm. expansion (0-50°C)	10 ⁻⁶ K ⁻¹	ASTM E831	8	8	8
Fire rating		DIN 4102	B2	B2	B2
Rheological properties					
Melt volume rate, MVR (230/3.8)	cm ³ /10min	ISO 1133	12	6	3
Optical properties					
Transmission factor, $\tau_{0.50}$	%	DIN 5036	92	92	92
Refractive index		ISO 489	1.49	1.49	1.49
Other properties					
Density	g/cm³	ISO 1183	1.19	1.19	1.19

Page 2 of 2

Our technical literature lists some of our characteristics given without obligation. The buyer is responsible for the application and processing of our products and is also liable for observing any third-party rights. Technical data concerning our products are typewritten.

® = registered trademark

röhm
Degussa-Hüls Group

Röhm GmbH
Chemische Fabrik
D-64293 Darmstadt
Phone: +49 (0)6151/18-01
Fax: +49 (0)6151/18-02
Internet: www.roehm.com

附錄 G F ratio Values (90% confidence) 【29】

TABLE D-6 F Values

		$F_{.10; \nu_1; \nu_2}$ 90% confidence [*]									
		Degrees of freedom for the numerator (ν_1)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Degrees of freedom for the denominator (ν_2)	1	39.9	49.5	53.6	55.8	57.2	58.2	58.9	59.4	59.9	60.2
	2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39
	3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23
	4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92
	5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30
	6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94
	7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70
	8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54
	9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42
	10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32
	11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25
	12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19
	13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14
	14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10
	15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06
	16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03
	17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00
	18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98
	19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96
	20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94
	22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90
	24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88
	26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86
	28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84
	30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82
	40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76
	50	2.81	2.41	2.20	2.06	1.97	1.90	1.84	1.80	1.76	1.73
	60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71
	80	2.77	2.37	2.15	2.02	1.92	1.85	1.79	1.75	1.71	1.68
	100	2.76	2.36	2.14	2.00	1.91	1.83	1.78	1.73	1.70	1.66
	200	2.73	2.33	2.11	1.97	1.88	1.80	1.75	1.70	1.66	1.63
	500	2.72	2.31	2.10	1.96	1.86	1.79	1.73	1.68	1.64	1.61
	∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60

作者簡介

姓 名：陳永坤

生 日：61 年 11 月 16 日

學 歷：國立台南第二高級中學畢業

私立淡江大學航空工程系畢業

國立台灣科技大學機械工程研究所畢業

經 歷：瀚斯寶麗 機構設計副理

大大工業 機構工程師

宣得 產品工程師

德泰科技 產品工程師

地 址：台南縣永康市大安街 396 號

電 話：0932216397

E-mail：akuen6@yahoo.com.tw