

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

應用單晶鑽石刀於導光板入光面精密切削
之研究



Precision Machining of the Incident Plane
of Light Guide Plate Using
Single-Crystal-Diamond Cutting Tool

研究生：林玉峰
指導教授：陳仁浩教授

中華民國九十八年六月

應用單晶鑽石刀於導光板入光面精密切削
之研究

Precision Machining of the Incident Plane
of Light Guide Plate Using
Single-Crystal-Diamond Cutting Tool

研究生：林玉峰

Student : Yu-Feng Lin

指導教授：陳仁浩

Advisor : Ren-Haw Chen



A Thesis

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

April 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

國立交通大學

論文口試委員會審定書

本校 工學院精密與自動化工程 學程碩士班 林玉峰 君

所提論文：

應用單晶鑽石刀於導光板入光面精密切削之研究

合於碩士資格水準、業經本委員會評審認可。

口試委員：

徐瑞坤 _____

洪景華 _____

鄭泗東 _____

指導教授：

陳紅浩 _____

傅武雄

班主任：

中華民國 98 年 06 月 23 日

摘要

導光板是液晶螢幕的重要零件之一，因為導光板的設計和製造對於液晶面板的亮度及均勻性有著重大影響，尤其是非印刷式的楔型導光板入光面的微結構，是背光模組的輝度分佈關鍵因素，本文藉著探討應用單晶鑽石刀作精密微結構切削，來提升導光板品質。

本研究應用精密端面切削加工機，採用不同角度的單晶鑽石刀具，分別以不同的切削速度針對液晶顯示器背光模組用之導光板入光面進行V溝微細切削，再以輝度儀具量測輝度分佈，在切削面檢測方面，採用光學顯微鏡、雷射共軛焦電子顯微鏡作導光板V溝表面粗糙度與V溝斷面形狀量測，了解因不同的切削速度所得到表面粗糙度的狀況，對於光學輝度分佈的影響，進而求得最佳參數組合，以達到增加導光板光學品質的目的。

藉由本研究的實驗可以發現，對於導光板壓克力材質的切削模式，切削速度的提高，能夠產生較佳的切削表面，對此，在導光板的光學設計會有很好的參考依據，可提高整個背光模組的品質，縮短開發時間，節省開發成本。

ABSTRACT

Light guide plate is one of the important parts of liquid crystal display . Because the design and manufacture of light guide plates has significant impact on the brightness and uniformity of liquid crystal panel . In particular, the luminance distribution of backlight module is critically affected to incident plate's micro-structure of non-printed wedge light guide plate . In this paper the single crystal diamond tools are applied to precision cutting for micro-structure to improve the quality of light guide plate .

In this study, the precision end-cutting machine would be applied . It will be used at different angles of the single crystal diamond tool and at variable cutting speed . To take a micro V groove structure process on the light guide plate's incident plane of liquid crystal display's backlight module , and then the distribution of luminance is measured by optical instrument . In the statement of the cutting surface inspection, using optical microscope and laser con-focal microscope to inspect the surface roughness and the section profile of light guide plate's V groove , It can be found that the condition of surface roughness at variable cutting speed affects the distribution of optical luminance , and then acquires the best combination of parameters to achieve the objective which the quality of light guide plate is improved .

It would be found what is the cutting mode of acrylic light guide plate through the cutting speed increased can get better cutting surface in the study's experiments . Therefore , that has a good reference for optical design of light guide plates, improving the quality of the backlight module , shortening the time of development and saving the costs of research .

誌謝

第一聲蟬鳴的感動已忘了在何時，而今年卻無端攪亂陳封已久的心緒；幾年的研究所生涯很快的便已劃下了句點，首先要感謝指導老師陳仁浩博士在這些年來給與我的諄諄教誨，不僅在學識上使我獲益良多，更指導我研究規劃的技巧，讓我有更好的專業來面對職場的考驗。並感謝徐瑞坤教授、鄭泗東教授與洪景華教授在教務繁忙之際撥冗指導論文口試，給與許多的建議及指正，益使論文更加完整。

若沒你們這群好同事、好夥伴，我又如何能專心在課業上，泮志，常常因為你的一番謬論，才能讓我坦然放下忙碌不完的工作，面對自己現階段目標，正偉、虹任、燿燦，感謝你們提供過去整理和搜尋資料的經驗，還有不時地給我精神上的鼓勵，讓我能在此困惑之際，再鼓起信念向前衝刺；在繁忙課業下無法兼顧工作時，銘賢、國龍、穎盟，謝謝你們能協助我處理許多的工作，才不致耽誤上課的時間；非常感謝你們大家的協助，讓我能順利完成學業。

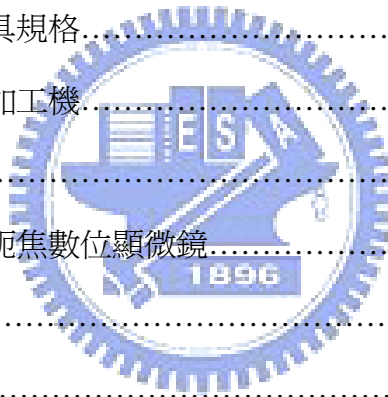
最後，僅將本論文獻給我的桃妹，感謝妳這些年來為我及這個家的付出，默默的支持還有給我無形的鼓勵，兒子們，爸爸已經完成了夢想，而你們的呢？若目標不來接近你，那你就走向她吧！感謝你們，希望和你們共同分享這份畢業的喜悅與榮耀。

目 錄

摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目 錄.....	iv
圖 目 錄.....	vi
表 目 錄.....	ix
第一章 緒 論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	2
1.3 文獻探討.....	5
1.4 研究方法.....	8
第二章 導光板作用原理.....	10
2.1 基礎光學理論.....	10
2.1.1 折射率.....	10
2.1.2 折射定律.....	11
2.1.3 反射定律.....	11
2.1.4 臨界角與全反射.....	11
2.1.5 漫反射.....	12
2.2 導光板光學原理.....	15
2.2.1 狹窄化方法.....	15
2.2.2 加入微結構方法.....	15
2.2.3 加入擴散點方法.....	16
2.3 背光模組結構分類.....	19
第三章 超精密加工技術.....	29



3.1 超精密加工的演進.....	29
3.2 超精密加工技術的用途.....	31
3.3 切削加工原理.....	32
3.4 切削速度.....	40
3.5 加工的表面品質.....	42
3.6 超精密加工技術在塑膠加工的應用.....	47
第四章 導光板入光側精密加工.....	49
4.1 實驗目的.....	49
4.2 實驗設備.....	49
4.2.1 工件材質與規格.....	49
4.2.2 切削刀具規格.....	51
4.2.3 微結構加工機.....	54
4.2.4 輝度計.....	56
4.2.5 雷射共軛焦數位顯微鏡.....	59
4.3 實驗設計.....	60
第五章 初步結果與分析.....	63
5.1 輝度分佈量測結果.....	63
5.2 理論粗糙度與 V 微結構粗糙度量測.....	66
5.3 切屑表面變化觀察.....	71
5.4 切削速度和光學輝度的關係.....	73
第六章 結論與建議.....	77
6.1 結論.....	77
6.2 建議.....	78
參考文獻.....	79



圖目錄

圖 1.1 小尺寸導光板側入料模具結構.....	3
圖 1.2 薄平板導光板出光側入料模具結構.....	3
圖 1.3 楔形導光板入光側入料模具結構.....	4
圖 2.1 折射原理.....	13
圖 2.2 反射原理.....	13
圖 2.3 光於光疏介質與光密介質的行進狀況.....	14
圖 2.4 正反射和漫反射.....	14
圖 2.5 導光板利用狹窄化改變光之行進路線情形.....	17
圖 2.6(a) 導光板利用上微結構改變光之行進路線情形.....	17
圖 2.6(b) 導光板利用下微結構改變光之行進路線情形.....	18
圖 2.7 擴散點光學原理.....	18
圖 2.8 印刷式導光板.....	21
圖 2.9 射出成型(蝕刻微點)導光板.....	22
圖 2.10 微切削加工導光板.....	22
圖 2.11 擴散片結構組成.....	23
圖 2.12 菱鏡片的作用原理.....	24
圖 2.13 雙側光源側光式背光板結構.....	26
圖 2.14 單側光源側光式背光板結構.....	27
圖 2.15 直下式背光板結構.....	28
圖 3.1 切屑的種類.....	33
圖 3.2 切屑形成模型.....	35
圖 3.3 剪切角對切屑形成影響.....	36
圖 3.4 正交切削的切削力關係圖.....	39
圖 3.5 切屑形成的速度.....	42

圖 3.6 切削刀具為圓鼻刀尖.....	43
圖 3.7 切削刀具無刀鼻圓角.....	44
圖 3.8 塑膠切削速度和粗糙度的關係.....	48
圖 4.1 導光板尺寸規格.....	50
圖 4.2 鑽石刀刀座.....	53
圖 4.3 端面微結構加工狀態.....	54
圖 4.4 LGA-P3D 加工機.....	54
圖 4.5 BM-7 輝度計.....	58
圖 4.6 輝度量測方式.....	58
圖 4.7 光學量測位置.....	59
圖 4.8 雷射共軛焦數位顯微鏡.....	60
圖 4.9 (a)端面切削導光板固定方式 (b)導光板組立方式.....	61
圖 4.10 導光板入光面微結構切削加工情形.....	62
圖 4.11 輝度量測點位置.....	62
圖 5.1 以 60°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值.....	64
圖 5.2 以 90°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值.....	64
圖 5.3 以 120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值.....	65
圖 5.4 60°、90°、120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度比較.....	65
.....	65
圖 5.5 切削速度與所得工件理論粗糙度的關係.....	67
圖 5.6 微 V 溝表面粗糙度量測.....	67
圖 5.7 以 90°單晶鑽石刀在不同切削速度下所得切削屑的外觀形狀.....	71
圖 5.8 切削屑的外觀龜裂痕跡距離量測.....	72
圖 5.9 使用 60°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係.....	74
圖 5.10 以 60°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係.....	74

圖 5.11 使用 90°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係.....75

圖 5.12 以 90°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係.....75

圖 5.13 使用 120°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係.....76

圖 5.14 以 120°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係.....76



表目錄

表 3.1 加工精度發展歷程.....	28
表 3.2 精密加工技術及其用途.....	31
表 4.1 壓克力機械性質.....	50
表 4.2 單晶鑽石刀及配重塊.....	52
表 4.3 鑽石刀具的各項特性.....	53
表 4.4 加工機 LGA-P3D 規格.....	55
表 4.5 BM-7 輝度計規格.....	57
表 5.1 以 60°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組粗糙度量測值.....	68
表 5.2 以 90°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的粗糙度量測值.....	69
表 5.3 以 120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的粗糙度量測值....	70
表 5.4 以 90°單晶鑽石刀在不同切削速度下所得切削層的外觀裂痕距離量測 數據.....	72



第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著網際網路與無線電通訊技術的急遽發展，各類資訊產品快速普及於個人和家庭，也因此輕巧簡便的資訊產品，諸如筆記型電腦、行動電話、數位相機、及個人數位助理等，均推陳出新地快速發展與成長。為了因應市場的大量需求及吸引消費者的青睞，所以液晶顯示器需具備薄型化、輕量化、低耗電量、無輻射污染的要求，來達到綠能環保符合未來市場的需求【1】。

近幾年來，液晶顯示器產品之應用更呈飛躍性的成長，從早期的簡易電子手錶、計算機等低資訊容量顯示產品的應用，漸漸擴及到精細化的監視器或可攜式資訊產品，其中技術涵蓋材料、設備、製程、產品特性等諸多層面的開發，使得各式新產品能夠快速發展，已經成為下一代平面顯示器市場的主流。另一方面，市場上的消費者對面板的功能及品質要求愈來愈高，尤其在筆記型電腦、PDA、或行動電話均朝向輕、薄方向發展，且對於顯示的附加效能有更高的要求，也因此對於顯示亮度的要求也就愈來愈高，來因應產品功能及消費市場的需求。

所以提供液晶顯示器光源的背光模組廠商也必需持續朝更高的輝度(亮度；註：「輝度」一詞為日文，但已被國內產學界所普遍習用，故本文亦採習用名詞，不做特別的更正，以免產生困擾。)研發來達到目前整個高輝度的需求，無論是以原材的選用來提高效能，更利用超精密加工技術加工出高精度模具，使得每個組成零件都能有高品質、高精度、高效能。尤其是微機電系統技術(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)的應用，使得製作微小機電元件之可行性大為提升，並且可達成微小化、多功能、陣列化、模組化及量產化的要求，並應用於光學元件的開發，讓導光板光學設計的效能可達到最佳化，無論是反射面的蝕刻、電鑄、V-Cut 結構、及出光面的斜V微結構，噴砂技術的應用都有很好成效，達到了高輝度、高均勻性的背光產品。近年因環保及節能意識日趨抬頭，發光二極體LED的使用愈來愈廣範，不同於冷陰極燈管光源特性，必須於導光板的入光面製作微結構才能將光源作有效擴散，讓光分佈更加均勻，達到高輝度及高品質的產品。

1.2 研究動機與目的

整個液晶顯示器產業高輝度需求的趨勢下，爲了提高背光模組的亮度，除了各種光學膜的效能提升外，導光板是重要光學元件，所以各種微結構的開發也因應而生。從以往的印刷式網點、非印刷的網點到V-Cut 配合噴砂或雙V-Cut 結構，及現在廣範應用的三面微結構，更對於提高輝度及均勻性有非常好的成效，也因此被廣範應用於導光板的薄板結構或是小尺寸的背光模組。這二種結構的導光板，在射出模具設計時都能夠將入料口設計在側邊或出光端面上，而不會在射出成型時影響導光板微結構的轉寫性、及外觀形成流痕、縮水或成型不全等不良情形，或因成型尺寸過大而造成厚薄不均及入料不對稱而形成光學分佈異常的狀況。藉由如此的模具結構待射出成型後脫模取出後，利用熱熔剪將料頭(Gate)剪除，然後再經鏡面銑刀作鏡面拋光，如圖 1.1小尺寸導光板及圖 1.2薄平板導光板的模具設計。

如此入光端便可利用模具結構作微結構加工，直接射出轉寫成型，使得光源經過有微結構的導光板，讓光能作有效的擴散，使得背光模組有更好的光入射效能達到高均勻、高輝度的要求。然而薄型平板的射出成型需要多段且高速的射出機才能達到，也因如此造成射出成本增加，更重要的是薄板射出讓成品內部產生較大內應力，致使導光板產生翹曲變形，影響光的傳遞及組裝功能，不但嚴重影響產品品質，也提高了整個生產成本。鑑於此，楔形導光板的設計仍被廣範的應用，一來不需使用昂貴的高速射出機台，只需用傳統油壓射出機台便可生產，二者改善薄板射出成型的翹曲問題，來降低整個生產成本並提高產品良率。

雖然楔形導光板有其生產上的優勢，但考量射出成型的因素，必須將入料口設計在楔形的厚端亦即光源的入光側，如圖 1.3，如此才能順利射出成型。再經由取出後以熱熔裝置剪除料頭及鏡面銑刀拋光加工後，則入光側便成爲一鏡面端面，而無法像薄形導光板由入光側微結構達到光源有效擴散；所以也就需要後段機械加工來達到類同於薄板微結構的功能。因此本文將針對導光板作端面機械精密加工的探討，建立加工速度、加工深度對於壓克力加工粗糙度的影響，並歸納背光模組輝度分佈的趨勢，作爲光學設計的參考。

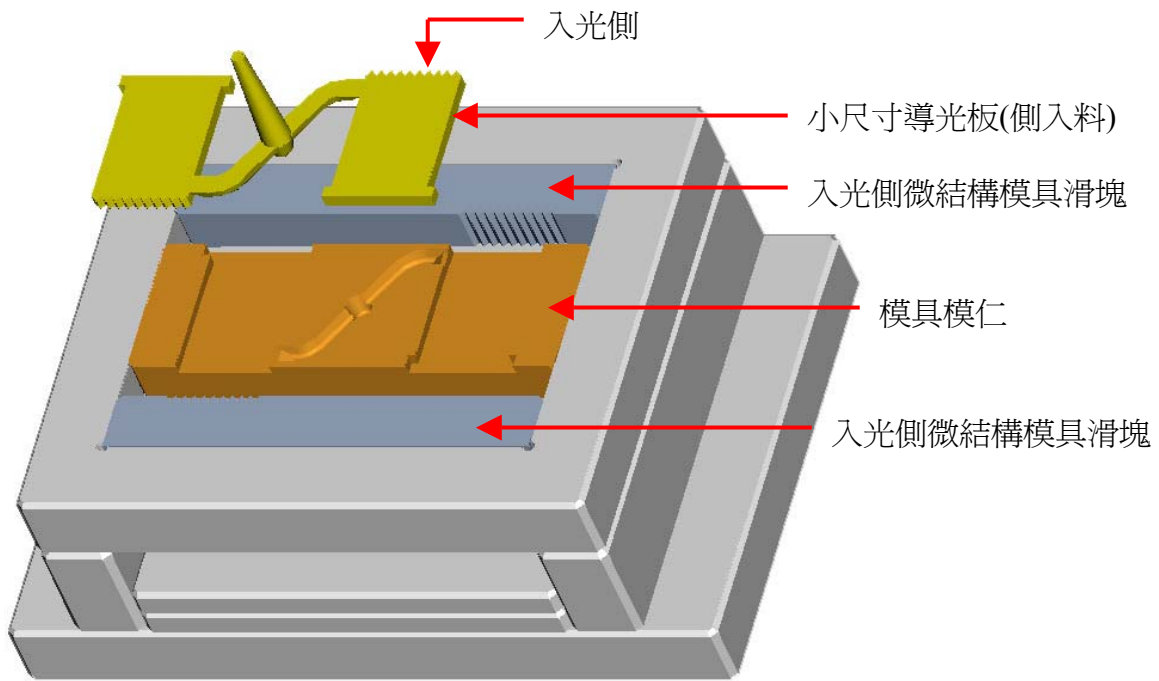


圖 1.1 小尺寸導光板側入料模具結構

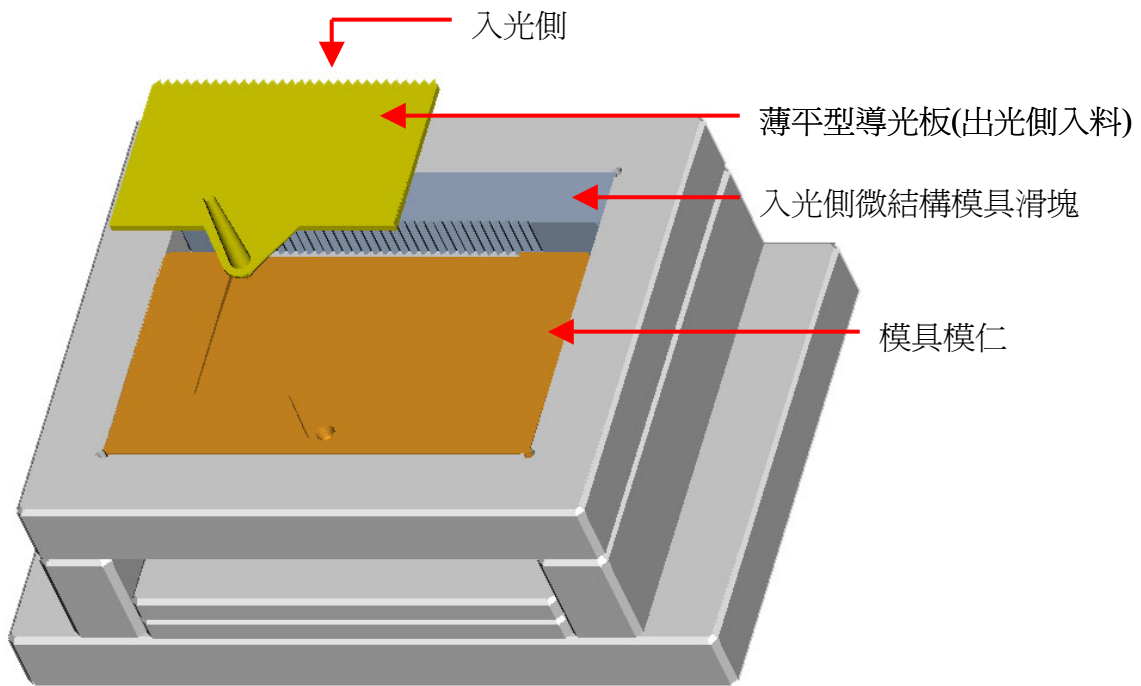


圖 1.2 薄平板導光板出光側入料模具結構

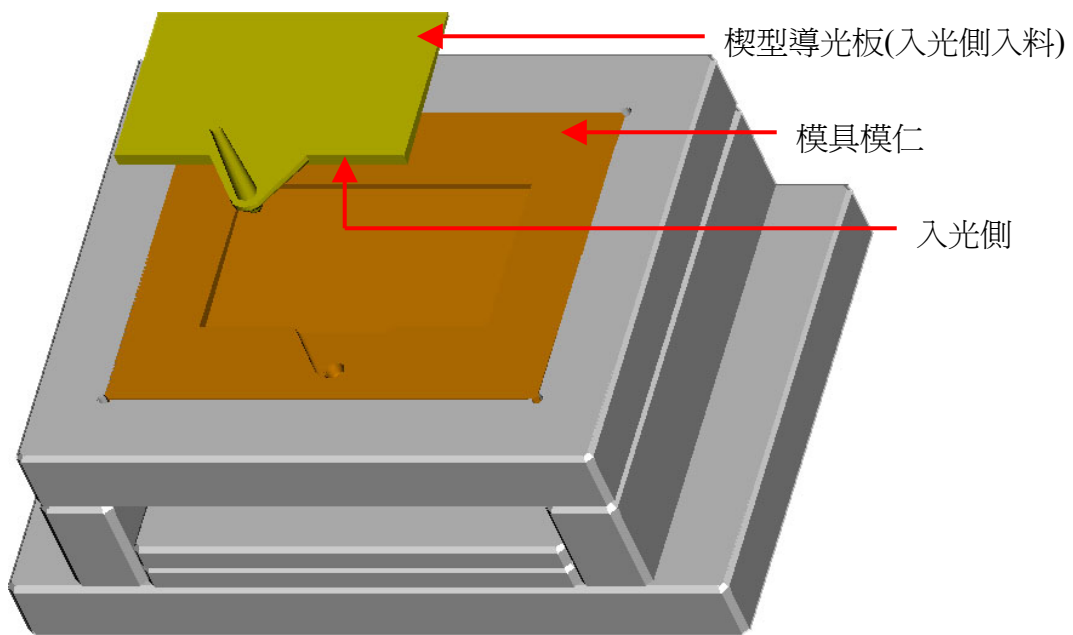


圖 1.3 楔形導光板入光側入料模具結構



1.3 文獻探討

爲了提高背光模組的發光效能，所以對於主要零組件的導光板之研究也就非常繁多，而針對導光板微結構形式的探討，其中2006年，林伯樺【2】，藉由電腦輔助軟體SPECTER建構2.2吋背光模組模型，並且研究導光板入光V-Cut 的頂角角度、V-Cut 間距，對於背光模組的中心輝度、平均輝度、均勻性與最高輝度的影響，並透過改善導光板入光V-Cut 的角度、V-Cut 間距的增加，使光源較均勻分散於接近LED與LED之間前方的出光面，而隨著V-Cut的角度、V-Cut 間距的減少，使光源較集中於LED與LED之間的出光面，並且藉由最高輝度、中心輝度與均勻性研究其輝度的趨勢；藉由電腦模擬分析得到若要以V-Cut 作為導光板增加輝度的結構，發現最佳的入光V-Cut角度為 120° 、入光V-Cut 間距為 0.2 mm。

在反射面微結構製程漸趨成熟發展，入光面的光學分析，便成爲提升輝度的另一個重要的指標，所以三面微結構的分析便成爲另一個新的研究領域，其中有2006年，邵龍志【3】，對於導光板微結構的設計與模擬，提到使用田口實驗分析方式針對所選取的微結構特定規格加以模擬出最佳狀態，從導光板光源入光處、出光面與反射面進行微結構設計，並利用導光板表面微結構破除光線在導光板內部的全反射現象，使得光線由導光板出光面射出，提供液晶顯示器所需的光源並且達到產品需求。於導光板上下兩面皆設計V-Cut 微結構，可增加正向輝度的效果且以V-Cut的排列密度與分佈設計能使出光均勻，V-Cut 微結構於導光板前端密度排列較稀疏時，導光板後方所能利用的光源相對增加，並容易使的整體均齊度有效提升。經過這些技術的改進，使得導光板出光效能明顯提高，如此便可讓能源消耗減少，達到綠能產品的地步。

而在入光側微結構研究中，2005年，張政德【4】，在背光模組導光板入光側V-Cut 微結構對光學輝度分佈影響之研究中發現，入光側V-Cut 鋸齒角度愈大，光會集中於LED 光源前方；而入光側V-Cut 鋸齒間距較小時，輝度分佈集中在LED 與LED 之間；當間距變大時，則LED 前方之輝度分佈會變爲橢圓形且集中於LED 前方；所以而改變入光側V-Cut 的深度，對於導光板的輝度變化影響並不大。由此對於微結構的設計更有具體方向，大幅縮短開發設計時間，減低開發成本。

另外2006年, Xingpeng Yang等【5】在導光板的設計研究中指出，若在導光板反射面的微菱鏡結構的形狀、大小和密度來達到改善出光角度及發光的均勻性，以14.1的導光板設計為例，可以達到86%以上的光學均勻性，並且可將出光角度由 40° 到 -20° 的有效區域，讓整個背光模組的發光效能提升，甚而可以省略菱鏡片的使用，達到成本降低的效果。

有好的模具設計才能有好的成品品質，尤其是精密微結構的模具加工，無論是尺寸精度或是表面精度，都對未來射出成型的產品轉寫性，及成型的表面品質，都皆有非常直接的影響，所以在2006年，張欽嘉【6】，在導光板V溝模具微細加工與精密檢測之研究一文中提及，導光板的設計與製造對於液晶面板亮度的均勻性有著重大影響，在非印刷式的導光板設計與製造方面，精密模具技術是關鍵所在，藉著探討V溝模具微細加工與檢測技術，以提升導光板品質。透過分析軟體ANSYS來分析機台震動，並以微型干涉振動分析儀來檢測切削加工振動的影響，在形貌檢測方面，採用電子顯微鏡、共焦型雷射位移計與表面輪廓量測系統來檢測刀具角度、導光板V溝表面粗糙度與V溝斷面形狀。至於「田口法」則用於求得最佳化切削參數組合，藉著變化各種加工條件(刀具角度、進給量、切削速度等)，以表面粗糙度為品質特性及 L_93^3 直角表進行望小特型分析，以求得最佳參數組合。提供精密加工良好的加工模式，並能針對加工後的品質提出檢驗對策。

導光板是藉由外形窄化、蝕刻微點及微結構來破壞全反射達到傳遞光的功能，要有最好的外形及微結構尺寸，才能將光源作有效的傳遞及出射，讓整體光源分佈均勻，所以在2002年，Akihiro Tagaya 等【7】，在高傳遞光學導光板研究一文中指出，楔形角度大小是影響出光效能的重要因素，並利用微結構角度及楔形角度的最佳組合，讓導光板具有最高效能。

對於非印刷導光板大部份皆以射出成型來生產，射出後的尺寸及表面品質，對於光學效能有重大影響，針對此在2004年，蔡俊欽【8】，在導光板光學設計及製程之最佳化研究一文中指出，導光板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。維持V溝尺寸的精度，需要足夠的壓力，但是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，是造成導致導光板光學輝度下降的主因。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成品，將是維持V溝特徵及提升光學輝度之最主要的關鍵。

而本文將針對導光板的切削加工工作一研究，所以切削刀具的選擇將會關係切削品質，在此方面的研究中以2002年，劉以仁【9】，在壓克力材質切削表面品質之研究，使用高速鋼、薄膜層(TiN、TiAlN)、硬質合金(碳化物)等二刃與四刃，以及單刃金剛石刀具進行各種不同切削條件的加工，並對加工後的表面粗糙度作量測，所得到的分析結果是以單晶金剛石所切削的表面精度最小、表面透明度最佳，探究其原因為鑽石的高硬度、低摩擦力所致。得到塑膠壓克力(PMMA)的切削加工中，鑽石刀可以有最佳切削精密度，並提出相當的數據結論。另外，亦可從以下文獻得知，鑽石刀具也應用於壓克力非球面透鏡的切削加工，亦有相當好的效果。

2005年，徐業奇【10】，使用燒結碳化物和聚晶鑽石刀具作為非球面壓克力透鏡的切削刀具時，在未添加任何冷卻液的切削過程中，其所得到的鏡面品質，並沒有因為工件與刀具間缺少潤滑而使得鏡面品質大幅下降，其中又以聚晶鑽石刀具所獲得的鏡面品質較佳；所以若是使用聚晶鑽石作為加工壓克力塑料的切削刀具時，不僅可以獲得與添加大量切削液時相近的表面粗度，還可避免切削液對人體造成的危害，進而實現綠色加工之目的。期望藉由鑽石刀具的導入，來大幅提升鏡片表面品質、改善加工製程、提高加工效率、降低生產成本；以及利用鑽石刀具的加工特性，達到乾式切削的加工情況，以符合目前產業綠色製造的趨勢。

2005年，劉世彰【11】，影響非球面微透鏡陣列形狀精度的是主要因素是刀具的面傾斜角的角度大小。而當刀具切削角與透鏡與透鏡的線向量在80.7度至110.4度，切線向量在9.8度至20度之間時，可使鉋削完成後非球面微透鏡陣列的表面獲得粗糙度(Ra)<10nm滿意結果。另外刀具的磨耗也是影響切削表面粗糙度的因素之一，所以在Ryuichi Iwamoyo等【12】在探討鑽石刀在軟質金屬超精密加工的研究中，經由切削

鋁合金瞭解到，實際切削距離和表面粗糙度的關係，在加工開始之後便稍稍有變動，實際切削距離在100KM以後，刀刃部份以有些許磨耗，實際切削距離在680KM以後磨耗將非常嚴重，且隨著刀具的磨耗而引起的切削振動也加劇，以致加工表面無法得到鏡面了。而本文作者亦對鑽石刀在脆硬材料作精密切削探討【13】，在刀具進給量及切削深度皆微細時，則平均粗糙度PV(Peak to Valley)約為42nm，Ra約為5nm，可切削加工出完全的鏡面。

在2004年，傅甘己【14】，以在刀具剛性與切削精度關係之研究中，提出切削刀具之撓度變形是造成工件加工產生誤差最主要因素。而刀具撓度變形大小是依刀具剛性好壞決定，剛性越差，刀具易產生變形，也容易產生切削振動，因而造成工件切削精度及表面粗糙度不良。剛性好壞的因素為刀具的直徑大小、螺旋槽數量、挾持長度等，皆會影響刀具之剛性，進而影響刀具於切削時可能產生之撓度，而造成加工精度、表面粗糙度不精確。指出精密加工刀具夾持所造成的剛性及振動問題，鑑於此若能降低此問題，將可以提高切削表面品質，若將此關係應用於導光板的切削加工，便可較容易得到光滑的表面精度，得到更好的傳導效能，而此可由2004年，曾文政【15】液晶顯示器背光板用導光板V-Cut加工之探討中可以得到證實，其利用CNC 銑床切削液晶顯示器背光板用之導光板切削參數進行探討，並進行最佳銑削條件分析，以獲得高輝度的導光板，由於鑽石刀具為硬度最高之物質，對非鐵金屬及非金屬工件材料之高速切削非常適合，經實驗證實其可達成無毛邊及鏡面加工之能力，因此，對於導光板之銑削，可獲得較高輝度之效果。導光板V-Cut 可收斂背光模組的視角，並將收斂部分的能量分佈在可視角內，達到目視的增亮效果（實際總能量不變）。進給速率太慢時，使得熱量集中，並使材料融熔於刀口，造成導光板之表面不佳，輝度值降低，所以V-Cut 表面粗糙度愈光滑形成反射，輝度愈佳；表面粗糙度愈粗糙形成散射。

1.4 研究方法

關於端面微結構形狀對於背光模組輝度的影響，V-Cut 對導光板的導光效能有著極大的關係，且微結構的深度和間距以及切削所形成的表面粗糙度對於光的效能有非常大的影響，而入光面微結構亦成爲未來產品的趨勢，所以入光面結構無法以塑膠射出來成型的楔形導光板，將會藉由切削加工來製作此結構，來達到整個設計的需求。

本研究首先針對基本的幾何光學原理來了解導光板的光學原理，以及收集、研讀切削加工理論並評估其在壓克力的適用性，其次進行壓克力的精密切削實驗，分析探討壓克力塑膠材料的精密切削特性，期能掌握較佳之加工參數條件，以得到最佳的加工品質。

實驗中將以 60 度、90 度和 120 度三種不同角度的 V 形單晶鑽石刀，以精密的端面加工機，以相同的切削深度及相同的間距，而施以不同的切削速度，來針對 14.1” 楔型導光板的入光側端面作 V 形微結構加工，並量測每一加工樣本的輝度分佈情形。而爲了減少因燈源不同而產生輝度的變異，所以固定使用相同的背光模組來讓光源輝度爲定值，並且所加工的導光板爲相同網點設計，讓光的傳導有相同的效能，以分析各種切削速度下對於壓克力(PMMA)材質的導光板，因切削速度變化所造成切削力的不同，所導致的導光板端面 V 溝粗糙度之差異，並分析其對於輝度分佈的影響，探討出最佳的切削速度範圍及最好的光學分佈趨勢，作爲楔形導光板光學設計的參考。

第二章 導光板作用原理

2.1 基礎光學理論

光為能量的一種形式，其基礎理論又可劃分為幾何光學、物理光學。幾何光學是將對光的解析以光線及光線的集合，並以光束(Light Beam)所表示的光學理論。而以光學原理來分類，背光模組所使用到的光學基礎理論為幾何光學(Geometrical Optics)，包括如光學膜片及導光板的反射與折射等現象。以下便針對反射、折射、全反射與漫射等原理來討論光學設計及分析光學問題【3】。

2.1.1 折射率(refractive index)

光在不同密度的介質中有不同的行進速度，當光線從第一介質入射至第二介質時，有一部分的光會反射回第一介質而另一部分會穿透到第二介質中，入射到第二介質中的光線成為入射線，於入射線進入第二介質交界時行進方向改變即稱為折射現象。而絕對折射率(通常簡稱折射率)是介質相對於真空的折射率，因光線在空氣中的速度相近於真空中的速度，所以絕對折射率可以被加以改為介質相對於空氣的折射率，其定義為：

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

n ：折射率

c ：光在空氣中的速率($\approx 3 \times 10^8$ m/s)

v ：是光在介質中的速率

由於折射率即為光學密度(Optical Density)，當 n 較大時即稱為光密介質(Optical Dense Medium)，反之則稱為光疏介質(Less Dense Medium)。

2.1.2 折射定律

折射產生的原因在於光線從一透明或半透明介質到另一種介質時，因介質密度的不同使得光線行進方向會改變，此種現象稱之為光的折射(Refraction)。如圖 2.1 所示，假設圖中之介質為一玻璃，光線由空氣中射入玻璃，經折射後再由玻璃射入空氣中，此現象必遵守斯乃爾定律(Snell's Law)。

Snell 定律對於折射光線非常重要，由於決定出折射光行進方向，故入射角(θ_i)與折射角(θ_t)的關係必須遵循 Snell's Law。

即
$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t) \quad (2.2)$$

n_1 表示入射前介質折射率， θ_i 為入射角， n_2 為入射後的介質折射率， θ_t 為折射角。如圖 2.1 所示，假設入射前介質為空氣($n=1.0003$ ，視為 $n=1$)時，則式(2.2)即可為：

$$n_2 = \frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_t)} \quad (2.3)$$

因此折射角(θ_t)大也就是光線由光疏介質進入光密介質時，折射線會偏離法線；而當光線由光密介質入射到光疏介質時，折射角較小故折射線偏向法線。所以可以經由角度的大小、折射線的偏離程度，判斷光線在兩個介質中的光速快慢，角度越大，代表光速越快。

2.1.3 反射定律

如圖 2.2 所示，當光線由 n_1 介質射入 n_2 介質時，於介質交界處會有部分光線返回到 n_1 介質中，此種現象即稱為反射(Reflection)；當光線發生反射時，反射光線需滿足入射角(θ_i)等於反射角(θ_r)的關係，且入射光與反射光均在介質的同一邊，此定律稱為反射定律。

2.1.4 臨界角與全反射

如圖 2.3 所示，假設當光束從光密介質 n_1 入射到光疏介質 n_2 時，依據 Snell's

Law，折射角 θ_t 將隨入射角 θ_i 之增加而增加，當折射角 $\theta_t = \frac{\pi}{2}$ 時便發生光線將延著介質表面行進；如果 θ_t 繼續增加，將不會產生折射線，且入射線將完全被反射回 n_1 介質中，此時稱之為全反射現象(Total reflection)，入射角 θ_c 被稱之為臨界角(Critical angle)，該入射角 θ_c 對應於使全反射瀕臨發生的入射角，而所對應的折射角為

$\theta_t = \frac{\pi}{2}$ ，則 (2.2) 式便可改寫成下式：

$$\sin(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.4)$$

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right), n_1 > n_2 \quad (2.5)$$

由式(2.2)、(2.4)與(2.5)可知臨界角的大小取決於兩邊介質的折射率，只要入射角大於臨界角時，全反射現象即會發生。故於此現象可了解光線於導光板中行進時當入射角大於全反射臨界角時，全反射光線將會遵循反射定律行進，即發生光線在導光板內持續進行全反射動作，無法將光線從表面出光面導出。



2.1.5 漫反射

上述說明了反射定律，但許多介質表面並非完整平滑，將導致入射光於介質表面產生擴散或漫射現象。由於任何曲面均可視為無限多個平面所組成，根據反射定律，當一光束射在光滑表面上時(如鏡子)，反射光只有一個方向，故稱之為單向反射。又如果光束射在一並非完整光滑平面時，光會向四面八方反射，此種反射現象稱之為漫反射(Diffuse reflection)，如圖 2.4 所示。漫反射又可分為兩種，即漫射及完整漫射，針對不同表面粗糙度，光束漫射方向亦有所不同；在表面粗糙度較小時，所產生的漫射方向較為集中；反之則相對漫射角度也隨之增加，光線並往四周圍漫射。

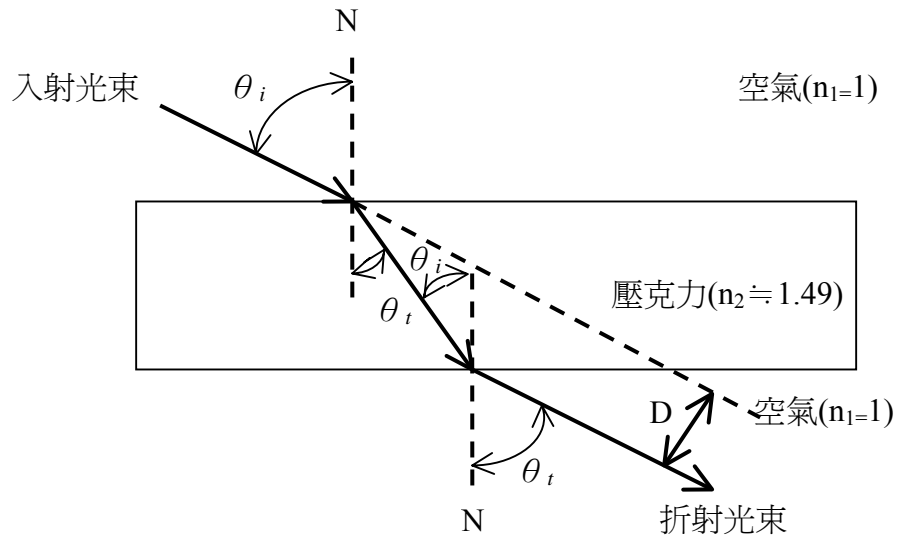


圖 2.1 折射原理

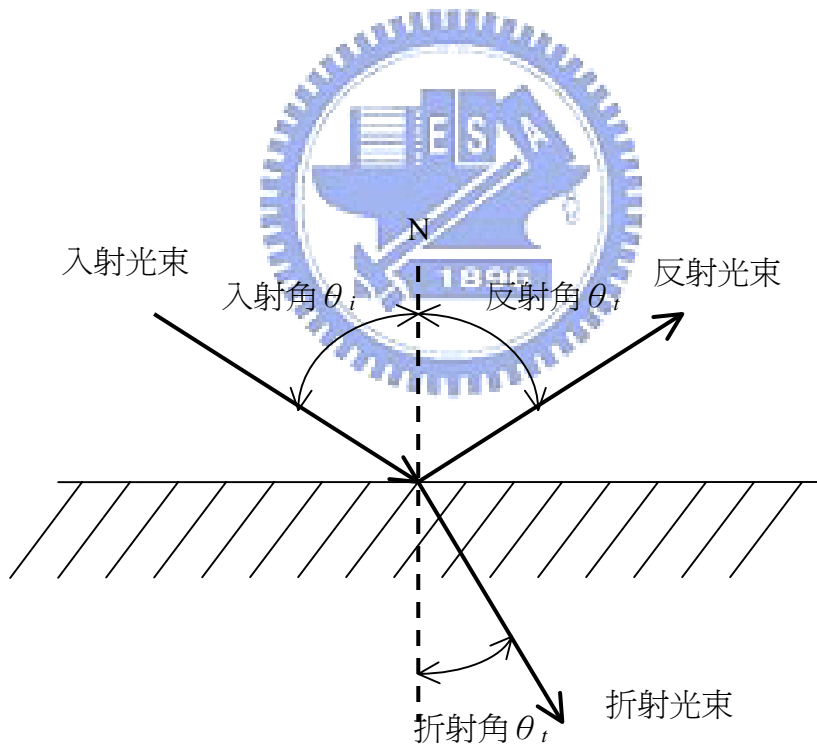


圖 2.2 反射原理

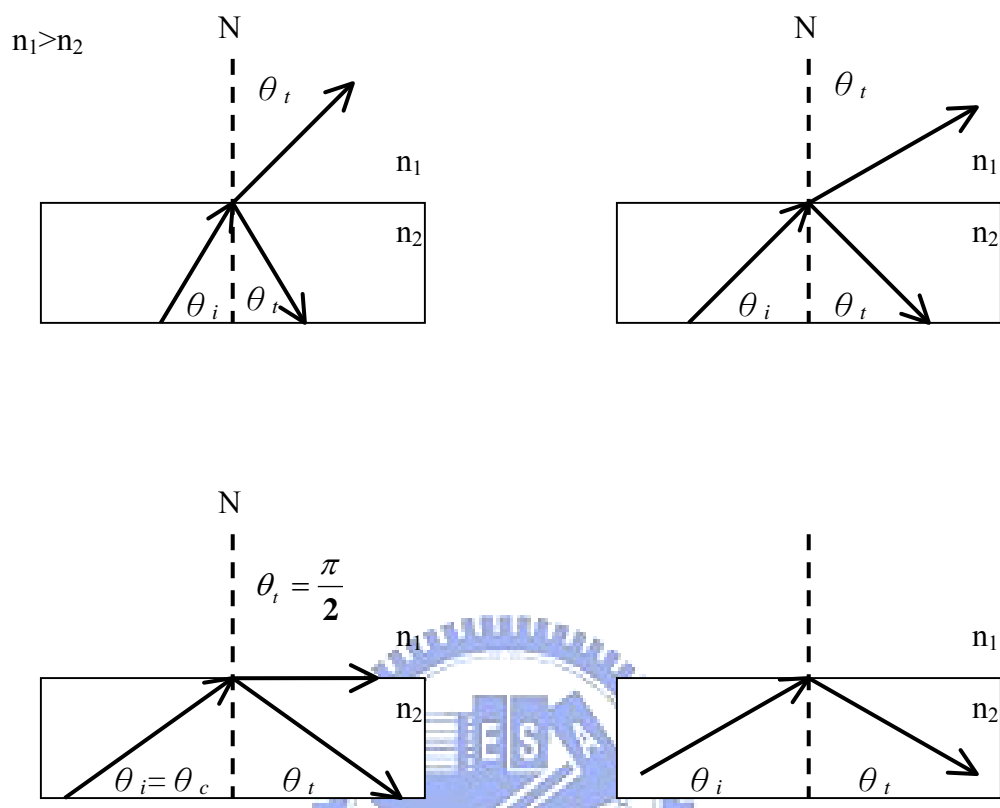


圖 2.3 光於光疏介質與光密介質的行進狀況

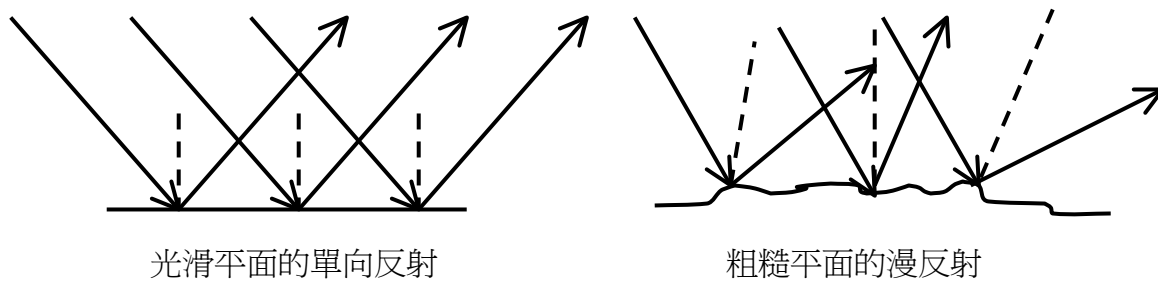


圖 2.4 正反射和漫反射

2.2 導光板光學原理

目前大部份導光板材料為壓克力(PMMA)，其折射係數大約為 1.49，所以可以計算得相對之全反射之臨界角大約為 42° ，此即意涵著只要入射角大於 42° 時光線即會產生全反射之現象，即使入射之光線是照射在一透明的面上，也無法將光線折射出來，這是在需要將光能夠完全應用的導光板中特別要注意的，所以利用全反射原理將光線作反射傳遞，在導光板的應用中也常會利用到此觀念【16】；以下介紹導光板設計中常用的三種方法。

2.2.1 狹窄化方法

楔形導光板為一般常見於側邊形燈源模組之導光板形狀，其採用楔形形狀之主要目的是希望藉由導光板形狀之改變，來破壞全反射之條件，讓光源能適當且均勻的散射出來，其作用方式如圖 2.5 所示，由此光源導入導光板中之光線，在此稱之為入射光，假設入射光與導光板之法線夾角大於 42° ，由前述之全反射原理可知，此光線會在壓克力介質中來回的依照入射角等於反射角的定理作全反射，使光線在導光板中傳遞；當光線遇到狹窄的表面時，入射角與表面法線之間之夾角，即入射角，會因逐漸狹窄之表面而改變，而當其入射角小於全反射臨界角時，光線便會從導光板的表面透出，因其全反射條件被逐漸變小導光板斜面所破壞，則光便能有效散射出，而達到照明之效果。由於遠離光源端之光線強度較弱，所以一般的導光板在遠端面之厚度較薄，導出之光線較多，而近光源端之厚度較厚，導出之光線較少。

2.2.2 加入微結構方法

在導光板之上下表面加入微結構為導光板中常用之方法，一般又分為上表面微結構法及下表面微結構法兩種，其所應用之原理各不相同。在上表面微結構法中主要應用之原理與前述狹窄化方法類似，利用導光板幾何形狀之改變而破壞全反射之條件，如圖 2.6(a)所示，在圖中光束 1 若在原本未加入微結構之導光板，如圖中的虛線面，作光線行進傳導時，因折射原理的關係，依然會保持在導光板中作全反射，如光束 2，而無法在透出導光板；但相同的光束 1 之射線在有加入上微結構的導光板時，

如圖 2.6(a)所示，可以發現光束路徑隨加入微結構而改變其入射角，並使入射角變小，破壞全反射條件而使光線導出導光板。上微結構法除應用在導光板之設計中外，也應用於背光模組菱鏡片之設計，因為其有限制射出光線角度，提高正面亮度之功用。

除在上表面加入微結構外，也會在導光板底部適時地加入微結構，達到增加光線之穿透性，然而在底部加入微結構與上表面加入微結構所應用之原理並不相同，在底部加入微結構 主要構想是利用斜面之全反射性質，將入射至底面之光線反射至視線方向，如圖 2.6(b)所示。若以平行於底面之光線為例，若其射線與斜面法線方向之夾角大於 42° ，光線即將被該微結構的斜面反射至視線方向，若光束的入射角小於 42° ，則光線會先折射進入第二個斜面繼續反射與折射的動作，如圖中所示。若以平行光線為例，欲造成全反射之鋸齒角度，該入射角($90-\theta$)應大於 42° ，即 θ 需小於 48° 時，該斜面才具有全反射之能力。

2.2.3 加入擴散點方法

在導光板底部會加入大小不一之擴散點，並以不同密度分佈在底面。擴散點的材料一般為具有高反射率之油墨材料，並以網點印刷之方式印製在底面，或是蝕刻、電鑄等微機電製程在導光板上或底部製作出許多圓形或方形的擴散點【17】，當光線射到擴散點時，利用各種疏密、大小不一的擴散點，光由側面入光後直射或經底下的反射板使反射光會往各個角度擴散，然後破壞全反射條件與光的干涉現象由導光板正面射出來達成光的輝度均勻分佈。擴散點之所以能將光線導出乃是利用散射原理，如圖 2.7 所表示，將其入射光線散射後，而穿透出導光板表面，當此光線射至擴散點時，會將一條光線散射為多條光線，這些被散射之光線，當其入射角皆小於全反射臨界角度時，光線即透出導光板；而散射光線之入射角度仍大於全反射臨界角之光線則繼續反射，直至遇到下一個擴散點，重複其散射過程；由於靠近燈管附近之光強度較強，所以在靠近光源之底面導光板之網點密度較低，且網點較小，而遠離光源之底面導光板之密度較高，且網點較大，此種分佈之主要目的是希望，將光源強度較強部分之部分散射較少之光線，而光源強度較弱之部分散射較多之光線，來達到亮度均勻之要求。

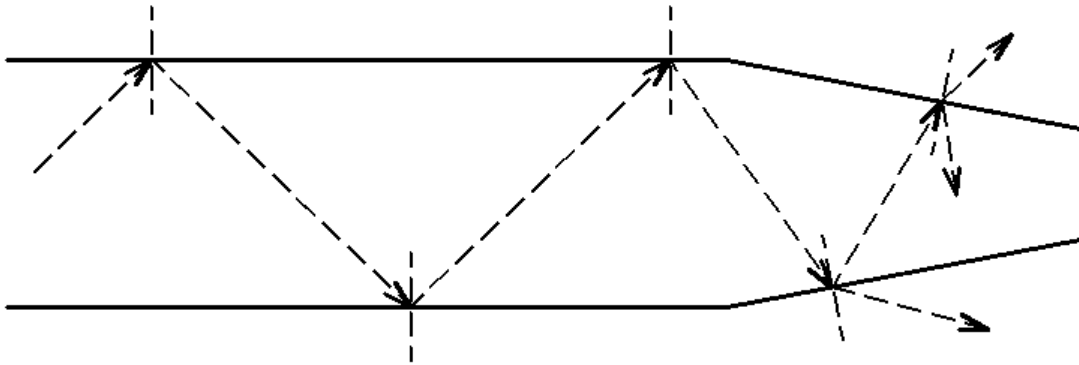


圖 2.5 導光板利用狹窄化改變光之行進路線情形

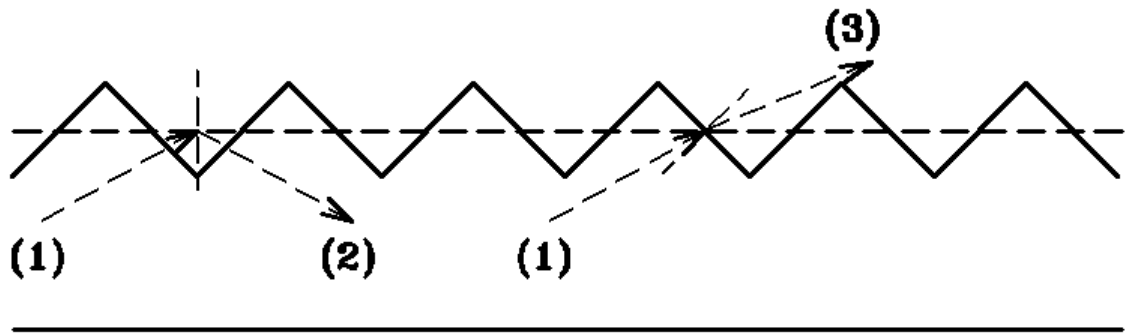


圖 2.6(a) 導光板利用上微結構改變光之行進路線情形

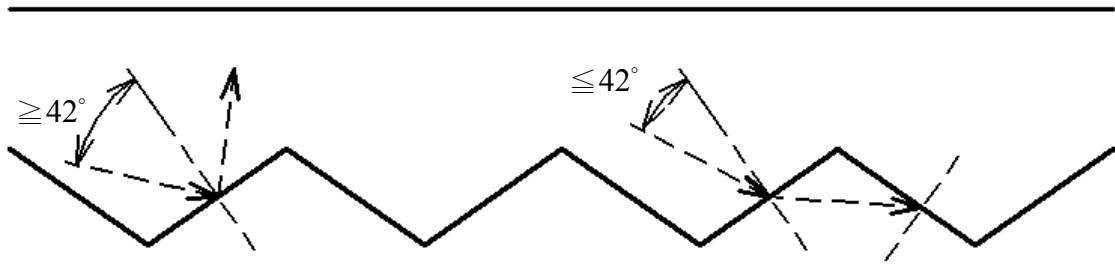


圖 2.6(b) 導光板利用下微結構改變光之行進路線情形

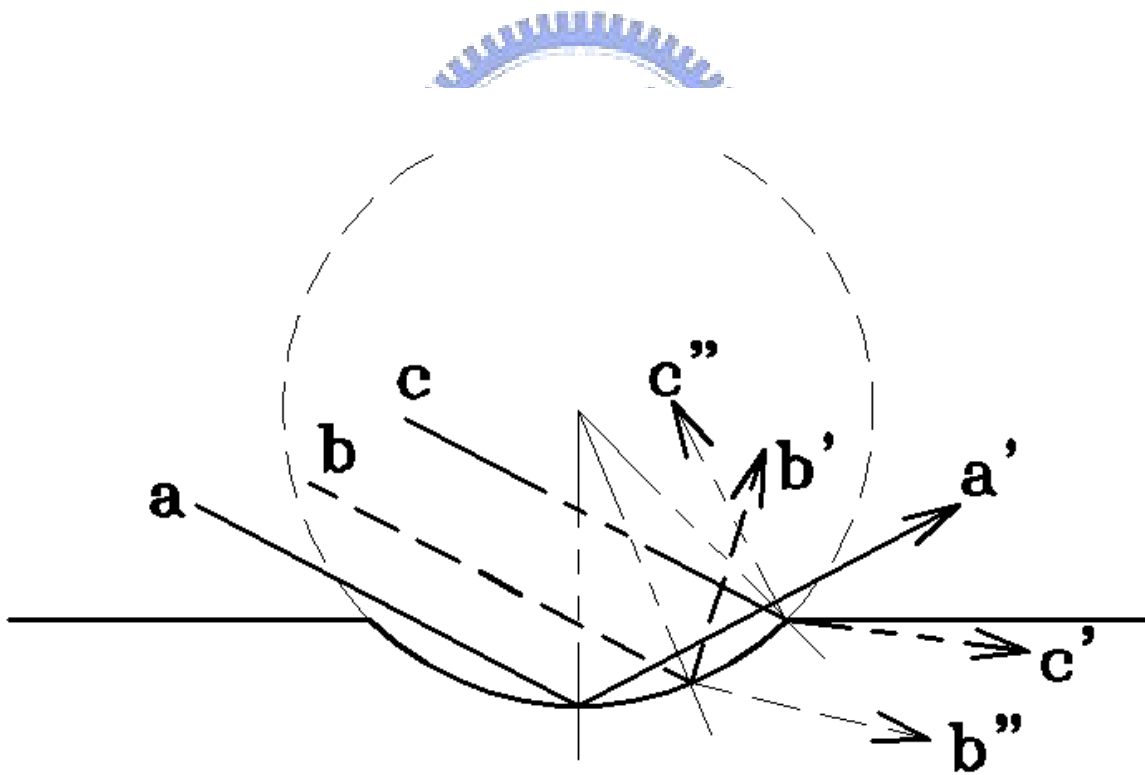


圖 2.7 擴散點光學原理

2.3 背光模組的結構分類

液晶顯示器由於其厚度薄、質量輕且攜帶方便，且相較於目前的CRT更有低輻射的優點，隨著液晶顯示器製造技術的提昇，近年來需求快速的增加，己能在顯示器的市場佔有一席之地，但由於LCD為非自發光性的顯示裝置，必須藉助外部光源才能達到顯示效果，而此提供光源的關鍵零組件便是背光模組。在大尺寸及低價格的趨勢下，為保持在未來市場的競爭力，背光模組在考量輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的市場要求，開發與設計新型的背光模組及射出成型的新製作技術，是努力的方向及重要課題。

背光模組主要組成大致由燈源、燈管反射罩、金屬背板、反射片(Reflector sheet)、導光板(Light guide plate)、擴散片(Diffuser sheet)、擴散板(Diffuser plate)、菱鏡片(Prism film)及外框等組件組裝而成，其中光學膜片與導光板為最主要之技術和成本所在，而各零組件功能說明如下：

燈源主要以冷陰極螢光燈管（Cold cathode fluorescent lamp，CCFL）及發光二極體（Light emitting diode，LED）為主，均具備高亮度、省電量及壽命長等特色，冷陰極管管徑細長，形狀可彎曲成L型、U型等；LED有RGB三種原色，或是藍光配合黃色螢光粉而成的白光，由於冷陰極管內含有水銀，有害於環境，無法符合目前所定訂的環境安全法規，因此LED有逐漸取代冷陰極管的趨勢。

燈管反射罩作用在包住燈管發出的光源，盡量反射送入導光板內，而燈管反射罩的形狀對導光板的入光效率有相當大的影響，一般中小型尺寸的背光模組常用包含銀蒸鍍膜及PET的軟性材質，約有80%的入光效率，而較大尺寸的筆記型電腦系列，對於入光效率要求較高，因此多以外型特殊及或以銅合金、鋁合金或不銹鋼等材質作為基材，再黏貼銀膜作為反射材，如此除了可以增加結構強度，亦可夾持導光板以增加入光效率，最佳時可達90%以上，並可將燈源所產生的熱量，藉此傳導達到散熱效果。

反射片主要是將光源反射至工作面，而不至於讓光源從非工作面射出，其功能是被散射的光源反射再進入光傳導區內，其本身對光源稍微有散射的效應，而反射片的反射率就是反射片最重要的關鍵，反射率越高就有越多光源反射至工作面，當反射

率越低時則光源就會從反射片穿透及吸收，因此就會有比較少的光源反射至工作面，在側光式大型的背光模組，為降低燈管入光處的輝線效應，常在反射板對應燈管入光處做消光設計，得到較佳的外觀效果及均一性;而目前產業界的反射片大約可分兩種，一種是白反射片、另一種是銀反射片。這兩種的基材都是 PET(Polyethylen terephthalate)，差異則是塗佈不同的反射材料，因不同的反射材料使得反射片厚度和反射率會有所差別，基本上銀反射片反射率比白反射片還要高，因為銀反射片塗佈上一層反射率極高的銀材。

導光板(Light guide plate)應用於側光型背光模組，是影響光效率的重要元件，製程主要分為裁切式和熱壓射出成型。裁切型的導光板是以壓延加工的平板片材，以組合型銑刀切削成所需外形尺寸，再將反射面印刷含高發散光源物質(如SiO₂及TiO₂)的印刷材料，適當的分佈在導光板底面，藉由印刷材料對光源吸收再擴散放出的特性，破壞全反射效應造成的內部傳播，使光由正面射出並均勻分佈於發光區，但因出光的散射角較大及印刷點亮度對比較高，必須使用擴散片及菱鏡片達到其光學要求，主要是應用於較無需考慮重量及薄形化的桌上型顯示螢幕，如圖 2.8 所示。

射出成型是用塑膠模具方式，反射面的微結構以蝕刻、電鑄或微切削加工，來形成微點或微溝的反射結構，再利用射出機將光學塑膠熱壓成型，而將反射面上的微結構轉寫到導光板成品上，蝕刻、電鑄其方法為將設計好的微點圖樣利用類似半導體之光罩曝光顯影方法轉印在光阻膜上，利用熱迴流製程使光阻表面形成圓滑之半球狀或半圓柱結構，再以精密電鑄之複製技術將光阻的圖案複製於電鑄模仁上，此法所製得之導光板可依導光板圖樣之設計對光源的射出作有效的調節，使發光區達到最佳均勻度。此外，微點圖樣具光學鏡面及微小的特性，更可使光能的損失達到最小，有助於輝度的提升，如圖 2.9 所示。

微切削加工導光板，在導光板底面以切削方式(Slot cut)製作出一條條長溝型的結構，溝兩側的反射鏡面破壞原來全反射作用，使光源能由導光板正面射出，經由長溝型間的寬度及深度的變化，調整出光面的光學分佈。切削方式的優點在於輝度的提高及製造上的方便，輝度提高的原因為光源擴散角的減小，使得正面光源增強，可因此

減少擴散板及稜鏡片的使用量，另外在出光面亦可使用切削方式製作與稜鏡片結構類似的鏡面設計，更能增加輝度提高的效果，如圖 2.10 所示。

但爲了讓背光模組能夠降低材料及組立成本，一體化導光板的設計則是未來努力的目標【18】，除了上述將擴散點、稜鏡片等的功能整合到導光板之中，使得導光板的正面加工，使其具有稜鏡片的功能，節省昂貴的菱鏡片，或在製作導光板時同時將擴散點一體成型，省去網版印刷的手續。另一種一體化的導光板設計是在導光板射出成型時，在壓克力材料中加入少量不同折射率的顆粒狀材質，此種導光板是靠光與顆粒間的散射作用，讓光自導光板表面射出，利用由疏到密的散射點設計，可讓導光板表面均勻發光。

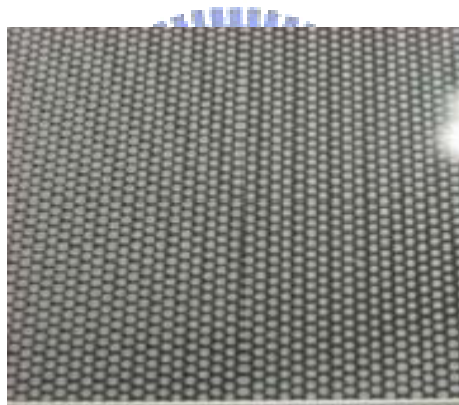


圖 2.8 印刷式導光板

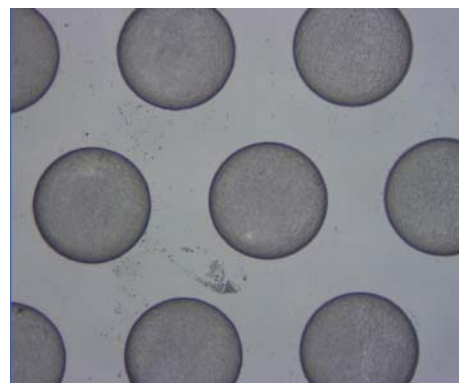


圖 2.9 射出成型(蝕刻微點)導光板

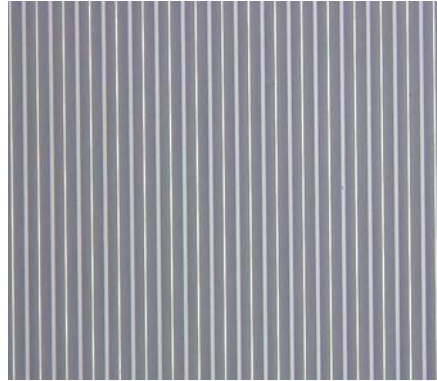


圖 2.10 微切削加工導光板

擴散片：光源經由反射片及導光板的微結構傳導及反射，光的出射角度並非集中在導光板正面方向，因此在LCD的視角上無法達成亮度上的要求，必須修正光源的方向及擴散角度，使得光源能盡量集中在要求的方向，所以擴散片的光學參數包含了霧面程度及穿透率，霧化效果使得視覺效果更加柔和，並且比較不會看到導光板內的微結構，且可以將導光板折射出的光線擴散擴散至適當視角，因此有效將射出的光線再次改變角度，使輝度能提高；擴散片的作用除了修正光行進的角度外，對於破壞全反射面的光學結構亦具有覆蓋的作用，保護結構較敏感的導光板及菱鏡片，如圖 2.11 是擴散片的結構組成。

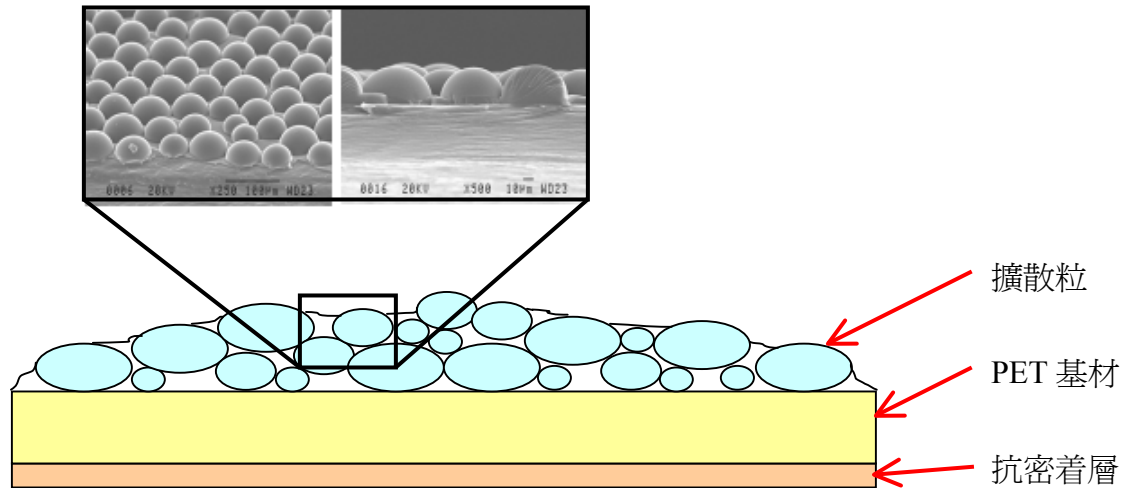


圖 2.11 擴散片結構組成

菱鏡片：是作為出光角度修正及集光效果並提升正面輝度的重要元件，主要作用是在增加背光輝度，其表面是一層 V 型的菱鏡面，可以把導光板折射出的光線再將其光線改變角度，將有效的光線全部朝向顯示面，而有的光線因射向菱鏡面的角度過大因而產生全反射角則光線因全反射的關係又再一次將光線射入導光板中再重新循環一次因而重複利用，如圖 2.12 所示。因此透過菱鏡片出來的光線角度會比未加菱鏡片出光角度來的小，因此會有視角上的問題，但增加菱鏡片時基本上會比未增加菱鏡片時增加 4~5 倍的輝度。而目前背光模組都是經由二片角度成正交的正菱鏡片 (將光學膜片微菱溝朝上正面放置稱之，以區分將微菱溝朝下放置的逆菱鏡) 或一片逆菱鏡片，將光折射成正向出光，成為 LCD 顯示器的有效視角，達到高輝度的需求。

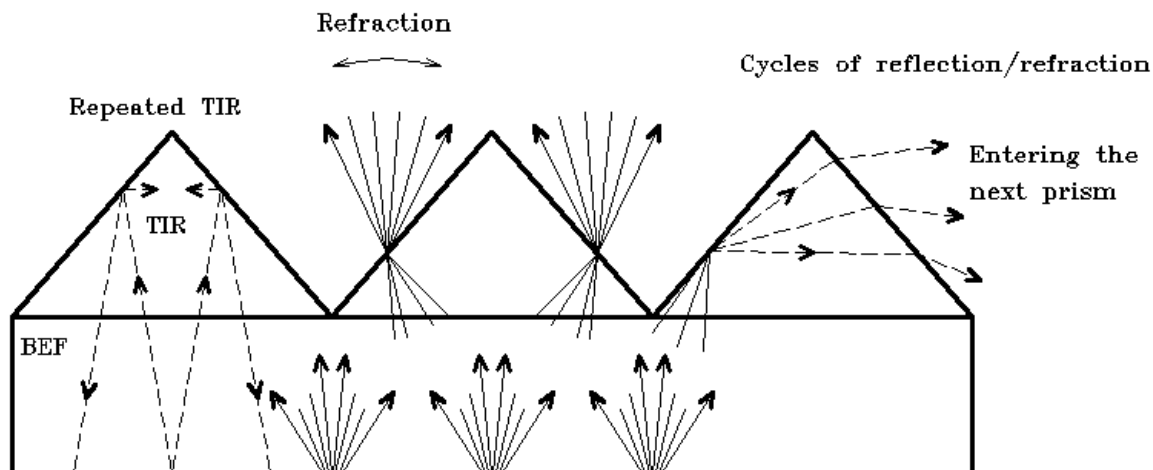


圖 2.12 菱鏡片的作用原理

擴散板：擴散板之功能為提供液晶顯示器一個均勻的面光源，和擴散片有相同效果，主要應用於沒有導光板可作為光學膜片支撐的直下式背光模組；所以一般傳統的擴散板主要是在擴散膜基材中，加入一顆顆的化學顆粒，作為散射粒子，而現有之擴散板其微粒子分散在樹脂層之間，所以光線在經過擴散層時會不斷的在兩個折射率相異的介質中穿過，在此同時光線就會發生許多折射、反射與散射的現象，如此便造成了光學擴散的效果。

所以背光模組由各類零件組成，依不同的產品需求而有不同的結構，一般而言，背光模組依其功能的要求，發展出下列不同結構：

- a. 側光式結構：此種結構分別應用於個人電腦螢幕或攜帶型的消費性電子產品，如筆記型電腦、行動相框、個人數位助理(PDA)、手機、數位相機、車用顯示裝置等，而二者不同處在於前者是上下側邊皆有光源，因為每一側光源採二支燈管設計，以致導光板厚度較厚不易以熱壓射出成型，所以一般採取用平板裁切外型後，以距離光源遠近為依據，調整印刷反射點的疏密或大小，使整體出光面達到均勻性的要求，如圖 2.13。後者則只有是單側邊有光源，且大部份只設計單支燈管，導光板採射出成型的楔型板或薄平板，其反射網點或微結構，皆是以利用蝕刻、電鑄或其它精密加工技術直接在模具內加工，在射出成

型時便將這些微結構轉寫於導光板上，一般常用於17"以下的背光模組，其側邊入射的光源設計，擁有重輕量、薄型化、低消費電力的特色，其結構如圖 2.14。

b.直下型結構:顧名思義，直下式背光模組的燈管是置於擴散板下方，而燈管可以使用直型、U 型，由於作為LCD-TV應用時，考量其大尺寸及觀看距離，必須有較高的亮度，因此使用的燈管數量較多，當燈管數倍增後，即引發一連串的問題需加以克服，其中包括有成本提高、耗電量增加到佔全TV 的90%、散熱問題變得嚴重等。另外，歐盟對環保議題相當在意，雖然目前CCFL作為光源，其含汞量仍在其環保容許範圍內，但是長遠來看仍是隱憂；且為了克服多燈管所造成的熱量，便加大厚度來提供更佳之散熱設計。採用直下式背光模組也有優勢，也就是它的組裝零件可以減少門檻較高的導光板技術，組裝亦較側光式為簡單，且它的整體發光效率相對於側光式背光模組也可以提高，這主要是因為減少使用導光板的緣故。另外，LCD-TV 尺寸越大時，背光模組發光之均勻性則越佳，但是當背光模組中之燈管越長時，燈管中心與兩端比較容易產生亮度明暗差異與色偏異；為了解決這個問題，需增加擴散膜的使用，造成亮度不足，只好再增加燈管數，因此而落入成本增加的惡性循環中。目前，大部分業者在 LCD-TV 開發初期均採用直下式背光模組，以展現其大尺寸面板之技術成就。如前所提言，開發直下式背光模組困難度相對於側光式背光式背光模組並不高，甚至更為單純。就發光表現而言，它的亮度、均勻性、色飽和度等都能夠與側光式背光模組相當，也已經符合消費者的需求，其結構如圖 2.15。

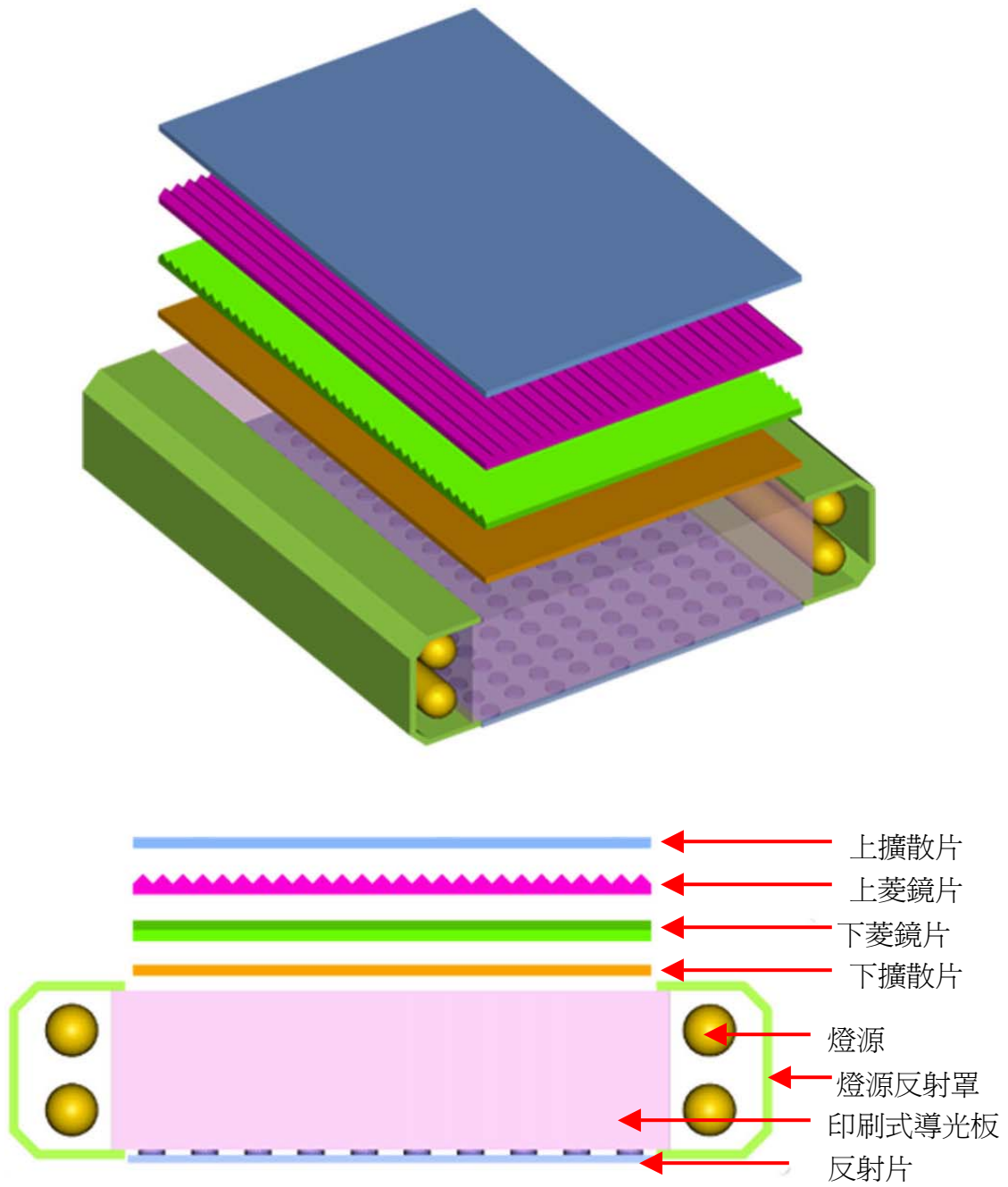


圖 2.13 雙側光源側光式背光板結構

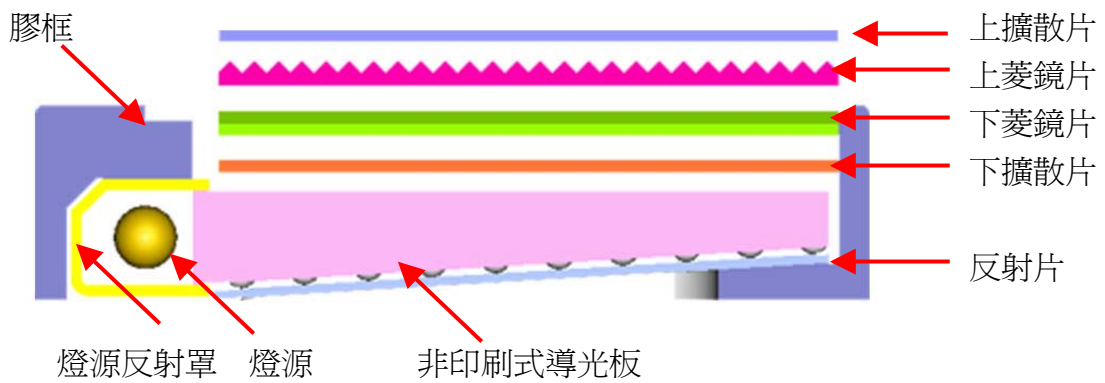
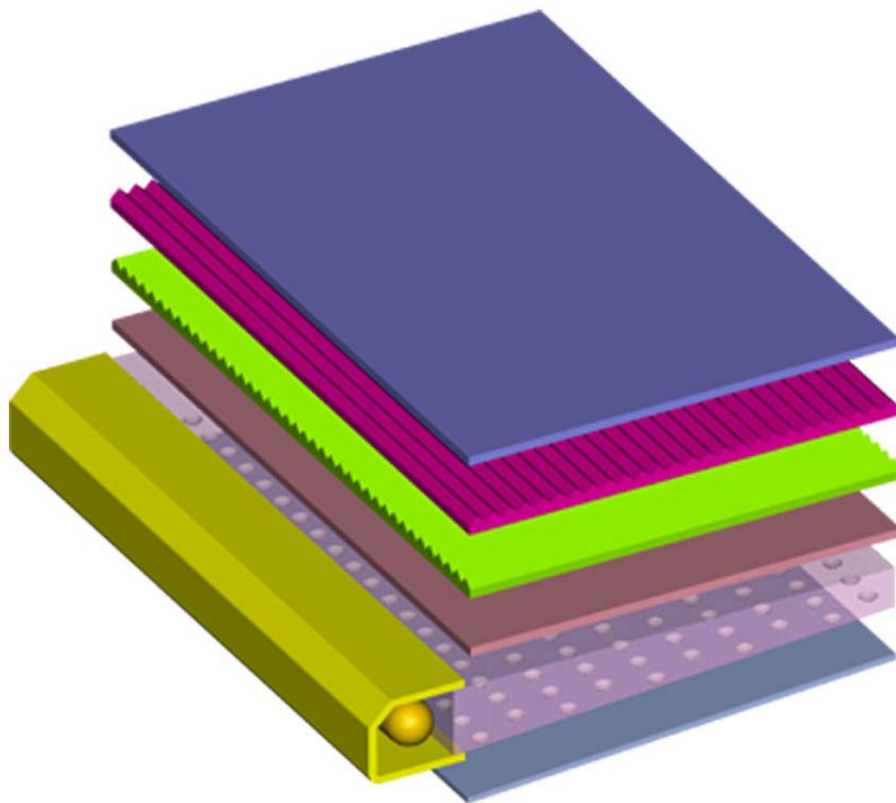


圖 2.14 單側光源側光式背光板結構

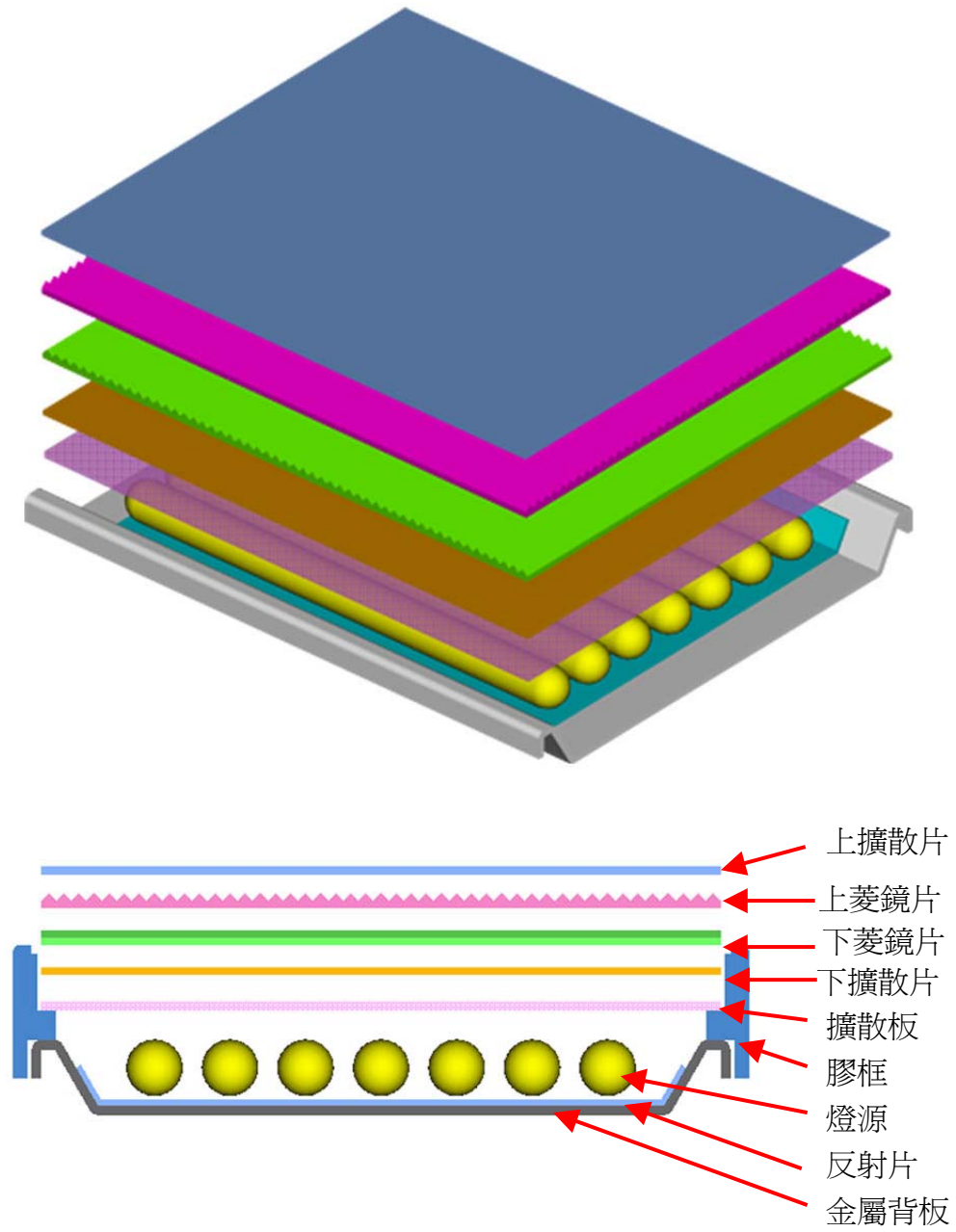


圖 2.15 直下式背光板結構

第三章 超精密加工技術

3.1 超精密加工的演進

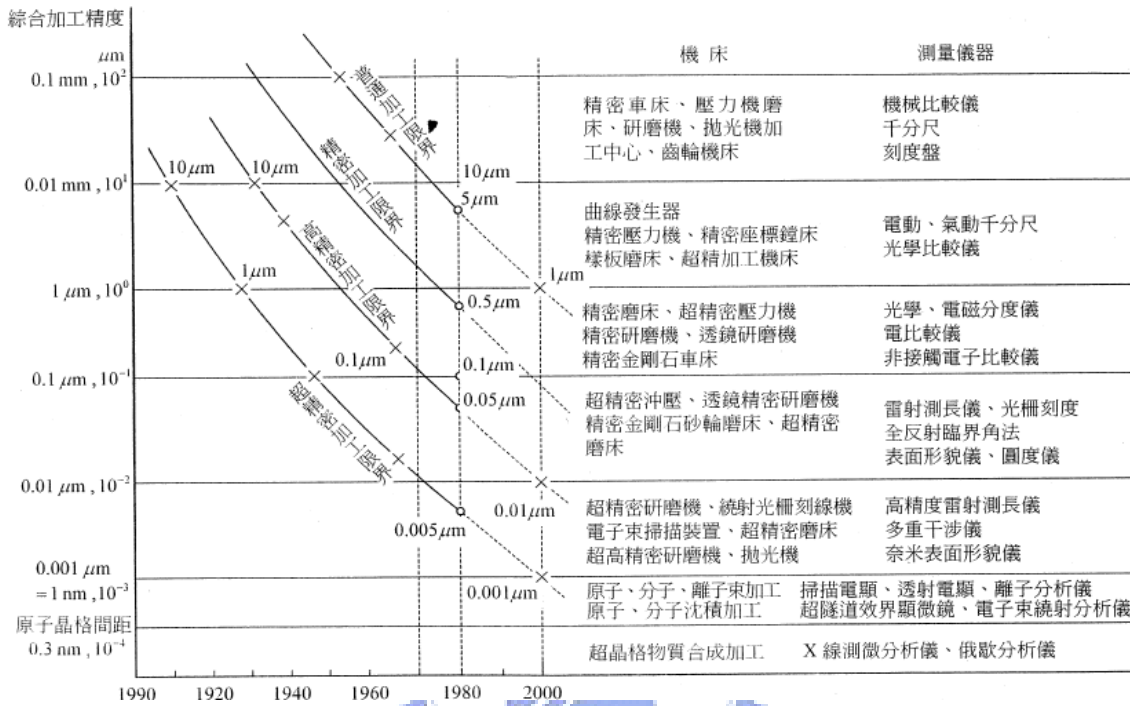
近年高科技對精密度要求愈高，促使精密機械的日益發展，對機械性能及可靠度的要求日益提昇，使得機械元件表面粗糙度的性能愈形重要。對表面粗糙度的研究與了解，其關鍵在於加工建立的表面粗糙度，好的表面粗糙度對機器性能的提高及可靠度的要求將有莫大的影響。

目前機械加工業，加工工件精度都有極大改善，而工業界對加工精度之要求日趨嚴格。而加工精度除了決定於工具機之精度外，刀具之切削狀況也是有非常重要影響，因此如何達成最佳切削效果，使產品精度及表面粗糙度達到設計之預期要求，並提升刀具使用壽命及加工速度藉以降低成本，為目前從事切削加工研究者之研究方向。傳統切削加工的種類很多，而於工業界中使用較頻繁者，除了鑽削、車削等加工外，就屬銑削加工使用較廣；而銑削時若無選擇適當的切削條件，必定造成工件表面精度不良，且會造成工件表面因切削熱殘留，使工件表面材質產生變化影響強度【19】。

精密加工和超精密加工技術自20世紀的1960年代提出以來，受到各國的高度重视，發展十分迅速，以日本、美國和英國比較突出，快速地促進了製造技術的發展，在國防工業、資訊工業、機械工業和航太工業等領域皆有廣闊的市場需求。

精密加工和超精密加工代表了加工精度發展的不同階段，從一般加工發展到精密加工，但所謂「超精密」一詞並非絕對，而是配合當時加工精度極限來討論，即如搪孔機及鐘錶車床加工精度雖以毫米計之，但以當時加工水準及精度，也堪稱為超精密加工技術，所以精密加工和超精密加工代表加工精度發展的不同階段，從一般加工發展到精密加工，再到超精密加工，如表 3.1。由於生產技術的不斷發展，劃分的界線將隨著發展進程而逐漸向前推移，因此劃分是相對的，不容易用數值來表示，現在，精密加工是指加工精度為 $1\sim 0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度小於 $Ra\ 0.1\sim 0.01\ \mu\text{m}$ ；超精密加工是指加工精度 $0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度小於 $Ra\ 0.025\ \mu\text{m}$ 的加工技術。

表 3.1 加工精度發展歷程【19】



而現在精密加工技術的突飛猛進，加工機具也都高度要求有完美運動基準及在此運動基準上運動的運動偶，以及靜壓導軌及軸承製作技術的成熟，能確保機械在作加工傳動時，能保證整個運動不會受到存在於機械內外的干擾影響，讓傳動及旋轉的偏移量，可控制在次微米以下，也採用閉迴路控制系統，利用He-Ne雷射或面型雷射的光源，除加工量的微小化外，亦作為使用數超精密加工機床台移動位置的感測器，藉此便能夠正確檢出機器運動的功能，如此即可使用數值控制方法，將加工平台的定位控制在1奈米精度。

3.2超精密加工技術的用途

精密加工技術是以追求低表面粗糙度、高形狀精度、高尺寸精度，並且能維持材料原先的物性為主要目的。

超精密鏡面加工近年來被大量使用於光電產業【20】，在成像(Image)與顯示(Display)兩大領域應用最廣。我國在近幾年積極投入，先後建立了平面、圓筒、角錐鏡、球面鏡、非球面鏡、Fresnel Lens、鏡面加工技術，尤其是積極投入鏡面微結構技術開發，應用於 LCD 導光板射出模具模仁 V 型微溝槽之鏡面加工及光學膜片滾輪曲面環狀 V 型微結構鏡面加工，此等技術的建立對現今台灣蓬勃發展之光電產業有極大之貢獻，也讓先進國家紛紛投入以超精密加工技術的研究；而表 3.2 是超精密加工技術各項用途。

表 3.2 精密加工技術及其用途【20】

零件名稱	加工材料	加工方式	用途
非球面透鏡	光學級玻璃、光學級塑膠	研削、切削、拋光、模造	相機、手機、光碟機、投影機…等
非球面模仁	高硬度鋼、碳化鎢、碳化矽、陶瓷、無電解鍍	切削、研削、拋光	塑膠射出成型用模具、玻璃模造成型用模具
球面、非球面、拋物面反射鏡	無電解鍍、光學級塑膠	切削、研削	雷射加工機、投影機
繞射透鏡及模仁	無電解鍍、光學級塑膠	切削	相機、光碟機…等
F- θ 透鏡、柱面透鏡用模仁、自由曲面鏡	高硬度鋼、碳化鎢、碳化矽、陶瓷、光學級玻璃、光學級塑膠	切削、研削、拋光	雷射印表機、投影機、照像手機、頭載式顯示器

3.3 切削加工原理

切削加工可視為將刀具與工作物相接觸並作相對運動，藉以產生極大應力而導致剪切破斷效應【10】，進而形成工件與切屑分離，以獲取所需尺寸、形狀與表面精度之工作，此時所用的刀具有車刀、鑽頭、銑刀是由刀刃構成，而砂輪、抹磨劑即由磨料所構成，都會產生切削，從工作物削除不用的部份，但是一般所謂的切削是狹義解釋，單指刀刃的切削，而本章亦闡述此理論，雖切削也有鑽頭及銑刀等刀刃形式，但也都都可以應用車削的切削理論【21】。

以工具切削工作物時，工作物的切削形狀可分為下列形式：

(1). 流動形切屑(Flow type chip)如圖 3.1(a)所示，在切削時切屑成穩定的剪斷角，切屑在剪斷面是呈現塑性變形，【22】，所以此時的剪斷會連續進行，切屑在工具斜面上連續流動而送出，所以切屑長且成捲。

產生此切屑時，材料藉連續性滑動破壞而被切削，工具所受的切削阻力不變動，振動少，加工面最良好，所以精密加工須選定各種加工條件來得到此種切屑形態，讓加工表面達到高精度的要求。

(2). 剪斷形切屑(Shear type chip)如圖 3.1(b)所示，在刀具斜上方發生滑動間隔不像流動形那麼小，滑動間隔增大而有一定的寬度，沿工具刀尖斜上方 a, d 發生滑動的話，切削阻力幾乎接近 0，隨工具的前進，a, b, c, d 素片如虛線般壓縮，在 b, c 方向方向發生第 2 次滑動，而產生 1 個切屑素片，反覆此種經過而進行切削，切屑因剪斷作用而成零散的素片，在工具斜角面送出。

此切屑因不連續滑動而發生，為流動形與撕裂形的中間切屑，1 次滑動即發生 1 個切屑素片，切削阻力就變動，也就造成刃尖的變形，在加工面殘留對應的凹凸，所以加工表面不如流動形。

(3). 撕裂形切屑(Tear type chip)如圖 3.1(c)所示，從刀尖向前發生龜裂而切削，材料黏着工具前面而無法在其上滑移，因無法從斜上方滑移，所以便向斜下龜裂，如圖中 b, c 方向剪斷會比進一步龜裂容易，如此的切削在 b, c 方向滑動，產生 1

個切屑素片，再反覆此過程，依序切削便為撕裂形切屑的生成情形，生且撕裂形切屑根本是龜裂和剪斷的作用。

此時撕裂是從刀尖前方，且其前端比水平方向稍向材料內部，加工面上殘留的撕裂痕跡，切削阻力也甚大於流動形及剪斷形，而且，每削出一片切削素片，就反覆變動，刀尖的振動也變的非常大，且易形成撕裂痕，加工精度較差，且工作物會有殘留應力產生，讓工作物在一段時間後發生尺寸變化，所以，撕裂形切屑的切削也不適於精密加工，以刀具切削塑膠，如環氧樹脂、PVC、壓克力(PMMA)時，在刀尖附近，塑膠發生黏性流動，塑膠分離的應力小於剪斷面應力，亦會形成撕裂形的切屑。

(4). 龜裂形切屑(Crack type chip)如圖 3.1(d)所示，發生的龜裂隨工具的進行而向斜上方，最後到達工作物表面，此龜裂在切削角小時，從水平方向往斜上方發生，切削角增大時，從刀尖的前進方向往下方發生，所以加工面殘留凹凸，切削阻力的變動也激烈，不適於精密加工。

壓克力(PMMA)、聚醯氨樹脂增大前傾角，加工切削速度，或環氧樹脂以低速度、大前傾角切削時，會生成塑膠的龜裂形切屑。

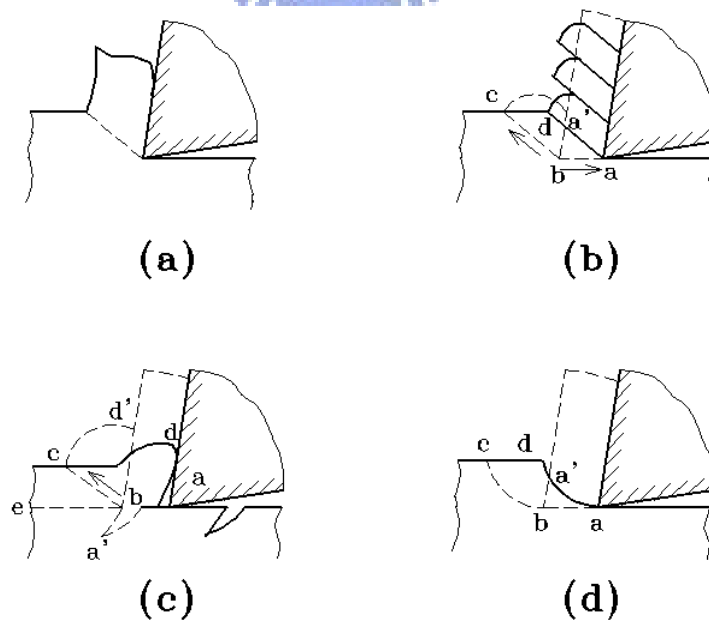


圖 3.1 切屑的種類

切削理論處理的問題有切削機構、切削阻力、切削溫度、加工面、工具壽命、被削性、振動、工作液等問題，這些都是實際作業時須考慮的重要因素【21】，而典型的切削加工模式是由工件、刀具、切屑所構成，如圖 3.3 所示；當切削加工時，刀具對工件施以進刀深度 (Depth of cut)而切削時，則工件會因為刀具前傾面的強大壓力而引起塑性的剪切作用，進而在 AB 的方向上剪斷，並產生厚度的切屑，沿著 AC 面流出。其中 AB 面稱為剪斷面(Shear plane)，AC 面為切屑剪斷面(Chip tool interface)，AE 面為加工面(Tool work interface)，這三個面在切削加工上分別都有其重要的意義，AB 面為描述工件受力產生的塑性變形、AC 面為工具磨耗與摩擦、AE 面則是與工具磨耗、加工面粗糙度與殘留應力等問題有關【10】。由於切削厚度在切削過程中會產生變化，無法直接控制，因此不能完全確定其形狀，故常以切削厚度比亦稱切削比做為判斷切削材料的變形質、切削品質、切削條件是否良好及工件材料的被削性等；如不計切屑與刀面的摩擦，則未變形切屑厚度與切削厚度之比為切削比 r_c 【23】，即

$$r_c = \frac{t}{t_c} \quad (3.1)$$



切削工具是一種楔形刀具(Wedge shaped cutting tool)，主要是由刀面(Face)與刀腹(Flank)所構成；刀面為切削過程中切屑流經的表面，刀腹則是當刀口切入工件時，具有避免刀具與已加工面相摩擦之作用，而此兩個面的連接處則稱為切刃口(Cutting edge)。刀面上的斜度稱之為斜角，在正交切削情況中，可由垂直於工件加工後新表面之直線與刀面所形成的角度來表示之。

在切削過程中，形成切削之基本機構，工件與刀具之間藉由機械能與相對運動使其發生剪切破斷進而移除材料，不論是連續切屑或不連續切屑，此移除的部份即稱為切屑；然而工件從刀具刃口至工件表面會形成所謂的剪切變形區，一般被稱作剪切面(Shear plane)，而剪切面與剪切方向的夾角稱為剪切角；如圖 3.2 剪切角 ϕ 可由以下公式求得：

$$\frac{t}{\sin \phi} = \frac{t_c}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (3.1)$$

將(3.1)式展開整理後可得：

$$\tan \phi = \frac{\frac{t}{t_c} \times \cos \alpha}{1 - \frac{t}{t_c} \times \sin \alpha} = \frac{\gamma_c \times \cos \alpha}{1 - \gamma_c \times \sin \alpha} \quad (3.2)$$

其中，

t ：進刀深度(mm)

t_c ：切削厚度(mm)

ϕ ：剪切角

α ：刀具傾角

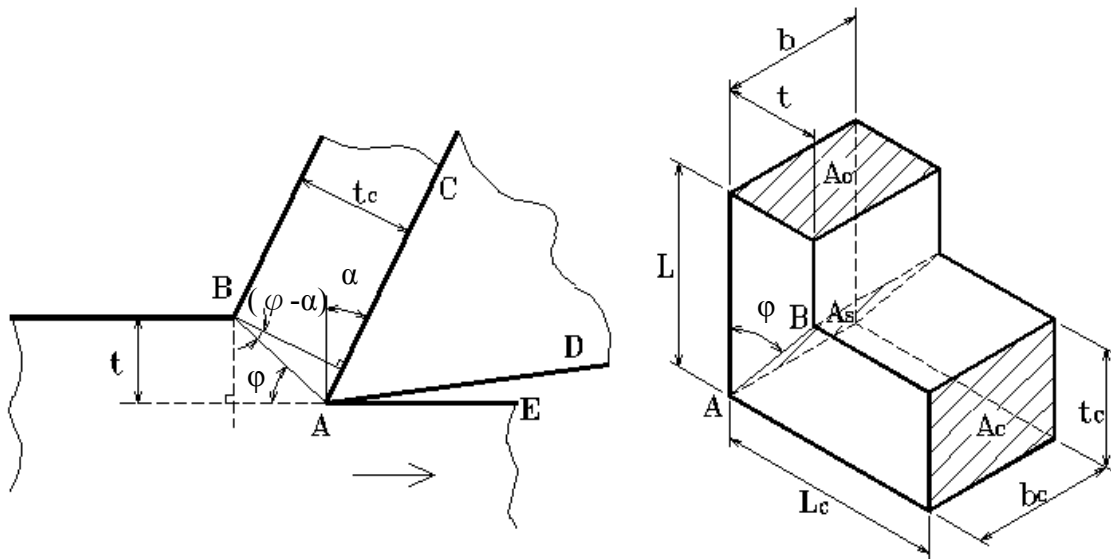


圖 3.2 切屑形成模型

由(3.2)式剪切角公式可發現，剪切角受切削條件及工件材料之影響甚大；如圖 3.3，以相同的切削深度及刀具傾角進行切削，若是剪切角小則剪切面長、切屑厚度亦隨之增大，此外隨著切屑的產生，切削阻力或切削熱增多，故造成所需的切削力亦增大；若剪切角大則剪切面較短，切屑變薄、切屑流出速度增快，切削阻力或切削熱亦變少，所需的切削力也就降低，所以剪切角愈大對於切削愈有利。

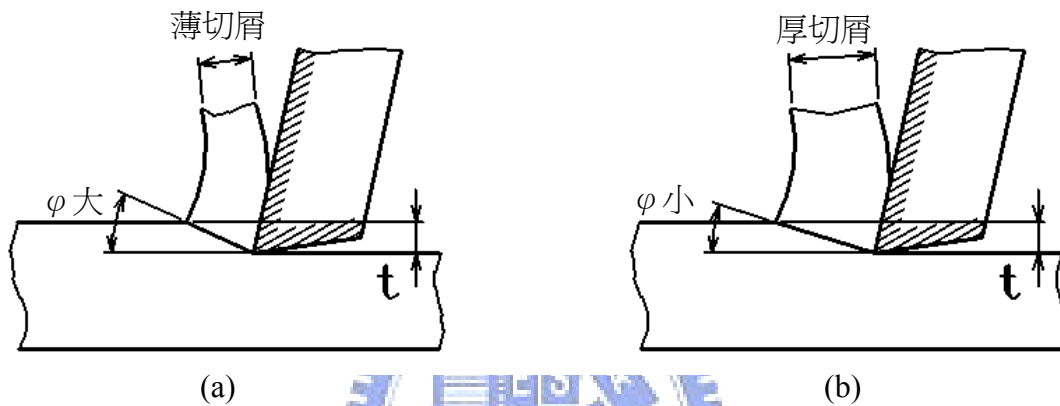


圖 3.3 剪切角對切屑形成影響【23】

因此刀具斜角的大小與工件材料的不同，直接影響了剪切角的大小，而剪切角的大小又關係著切屑厚度，進而可藉由切屑的形成來作為評估整個切削加工的順利與否。所以我們可基於剪切角與切屑形成的理論分析，再藉由刀具斜角大小與工件材料性質的選擇，來達到最有利的切削加工情況。

在切削力(Cutting force)的分析方面，切削是使工件發生大塑性變形，進而分離切屑，是促使剪切面發生剪應變所須之力量，而經由刀具斜面傳入，又稱為切削阻力(Cutting resistance)。其方向、大小因加工方法、刀具幾何、切削條件、加工材料而異，所以切削阻力直接影響切削所需動力，並透過切削系統包括工具機、刀具與工件之剛性將影響加工精度。換言之也就是用以評斷工件材料被削性的基準之一，而藉由過去切削理論的探討與切削阻力的計算與分析，可有助於切削現象的討論，並用來求得被切削材料的機械性質與切削條件，以瞭解刀具幾何、切削速度、進給速

率等切削條件是否恰當。

同時，切削力與刀具尖端發生之熱有直接關係，連與刀具壽命也有密切關係，所以切削力直接影響所須動力、尺寸精度、形狀精度、加工面粗度、加工變質層與刀具壽命等加工項目【24】。

由圖 3.4(a) 正交切削的切削力關係圖，得知 R 為刀面部份和切屑間的作用力 R' 則為剪切面上的工件和切屑間的作用力，根據力學平衡條件得知 R 必須等於 R' ，而 R 與 R' 可以分為以下三組分力：

1. 水平與垂直方向分力， F_p 與 N_p 。
2. 沿著剪切面和垂直於剪切面的分力 F_s 與 N_s 。
3. 沿著刀具面部和垂直於刀具面部的分力 F 與 N 。

由圖 3.4(b)可以得知，與刀面平行之分力 F 為，

$$\begin{aligned} F &= \overline{AE} + \overline{ED} \\ &= F_p \sin \alpha + N_p \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.3)$$

與刀面垂直之分力 N 為，

$$\begin{aligned} N &= \overline{IC} - \overline{ID} \\ &= F_p \cos \alpha - N_p \sin \alpha \end{aligned} \quad (3.4)$$

由上式可知，當切屑接觸於刀面時，將在垂直方向及水平方向產生作用力，故切屑與刀面間的摩擦係數 μ 及摩擦角 β 為，

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_p \sin \alpha + N_p \cos \alpha}{F_p \cos \alpha - N_p \sin \alpha} \quad (3.5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \mu \quad (3.6)$$

由式(3.5)可得知，切屑滑離刀面的阻力和刀具傾角 α 及兩分力 F_p 、 N_p 有關，此兩方向的力可藉切削力測力計予以測定。

由圖 3.4 切削力關係圖可得知，切削力亦可分解成沿著平行於剪切面方向的分力 F_s ，及與剪切面垂直的分力 N_s ，則 F_s 是剪切工件材料以形成切削所需的作用力，稱為剪力(Shear force)，而 N_s 則會使剪切面產生壓縮應力(Compressive stress)，所以可以得知，

$$\begin{aligned} F_s &= AL - KL \\ &= F_p \cos \phi - N_p \sin \phi \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} N_s &= KM + MC \\ &= F_p \sin \phi + N_p \cos \phi \end{aligned} \quad (3.8)$$

因切削中作用於剪切面的剪應力 τ_s ，可以視為工件材料的剪切強度，若已知剪切角 ϕ ，刀面的摩擦角 β ，刀具傾角 α ，則切削作用力 F_p 及垂直其的作用力 N_p 可以由下式求出：

$$F_s = R \cos(\phi + \beta - \alpha) \quad (3.9)$$

$$F_p = R \cos(\beta - \alpha) \quad (3.10)$$

$$N_p = R \sin(\beta - \alpha) \quad (3.11)$$



由圖 3.2 可知，剪力 F_s 和剪應力 τ_s 的關係為：

$$F_s = \tau_s \times A_s = \tau_s \times \frac{b \cdot t}{\sin \phi} \quad (3.12)$$

所以，由式(3.9)及式(3.10)可得知 F_p 為：

$$F_p = \frac{F_s \times \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)}, \text{ 由式(3.12)將 } F_s \text{ 代入得}$$

$$F_p = \tau_s \times bt \left[\frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \right] \quad (3.13)$$

同理可得

$$N_s = \tau_s \times bt \left[\frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \right] \quad (3.14)$$

由此可知影響切削力的因素：

1. 被切削工件的機械性質及剪應力。
2. 切削時刀具的傾斜角度。
3. 未變形切屑厚度 t 。
4. 切屑寬度 b 。
5. 刀面的摩擦係數變化所致的剪切角。

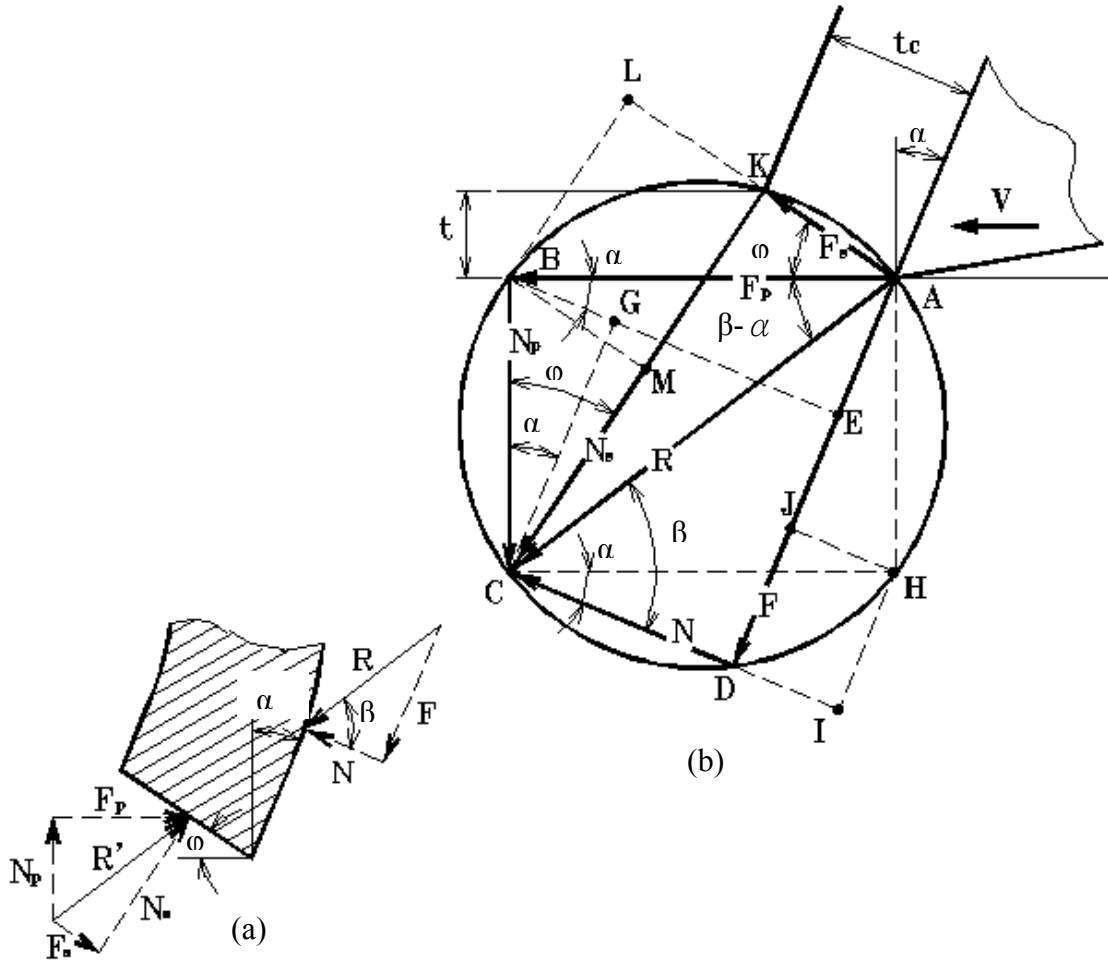


圖 3.4 正交切削的切削力關係圖

3.4 切削速度

切削速度是指工件與刀具間相對移動的速度，而不同的加工方式對於切削速度的定義也不同，例如車削指的是工件的表面速度，即工件通過刀具的速度，而鑽床或銑床指的是刀具的圓周速度，再者刨床指的是刀具於切削行程中的平均速度，若以車削加工而言，其切削速度 V 定義為：

$$V = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (3.15)$$

V ：切削速度(m/min)

D ：工件直徑 (mm)

N ：回轉速(rpm)

一般而言，提高切削速度會減少加工時間，但是會因此產生較多的摩擦熱而使刀具壽命下降，反而增加造成加工的成本與時間，所有因應各種切削條件需建立適當的切削速度，以符合加工成本及達到所需的外形精度；所以切削速度為切削條件中影響最為廣泛的因素之一，對加工效率、刀具壽命、表面粗糙度、振動、安全等具有很大的影響。提高切削速度，可提升加工效率，同時表面粗糙度也可獲得改善，但相對地使刀具壽命降低。因此，適當切削速度的選擇必須考慮下列因素：

- (一) 工件材料性質：主要是依據材料的硬度與韌性來選擇適當的切削速度。硬度愈高、韌性愈大者，宜選擇較低的切削速度。反之，易切削的材料，可選擇較高的切削速度進行加工。
- (二) 刀具：考量的是刀具材質與刀角對於切削速度的差異，例如，鑽石刀具的切削速度比陶瓷刀具高，而陶瓷刀具比碳化物高。刀角的銳利程度對於切削性也有所提升，切削速度也可因此而增加，但對於刀具壽命卻是相對的降低。

(三) 進刀深度與進給：進刀深度影響切屑寬度，進給則影響切屑厚度。若進刀深且進給大，也表示切削阻力亦增大，對於刀具壽命則相對降低，因此考量大切深與大進給對於刀具的負擔，應選擇較低的切削速度。

(四) 切削劑：切削劑的使用可降低切削溫度、帶離切屑、維持刀刃的穩定性，因而可以提高切削速度。

(五) 工具機結構與性能：若是工具機結構鬆動、剛性不足，應採用低切削速度，以避免切削振動對於加工品質的影響。反之，剛性強、結構穩定的工具機，則可以採用較高的切削速度。

(六) 加工品質與加工方式：精切削、粗切削、連續切削、不連續切削，或工件夾持的穩固性，對於切削速度均有影響。

若不考慮切屑與刀面摩擦和切屑捲曲的情形，則切屑形成時有三種速度，如圖 3.6 所示【23】。

1. 切屑速度 V ：刀具對工件的切削速度，沿工件之加工面方向。

2. 剪切速度 V_s ：切屑對工件的相對速度，沿剪切面方向。

3. 切屑速度 V_c ：切屑對刀具的相對速度，沿刀面方向。

根據動力學原理可以得知，此三個速度向量必構成一個封閉速度圖，由圖 3.5 得切削速度和切屑速度的向量和等於剪切速度，所以得知

$$V_s \times \cos(\phi - \alpha) = V \times \cos \alpha$$
$$V_s = \frac{V \times \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (3.16)$$

$$V_c \times \cos(\phi - \alpha) = V \times \sin \phi$$
$$V_c = \frac{V \times \sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (3.17)$$

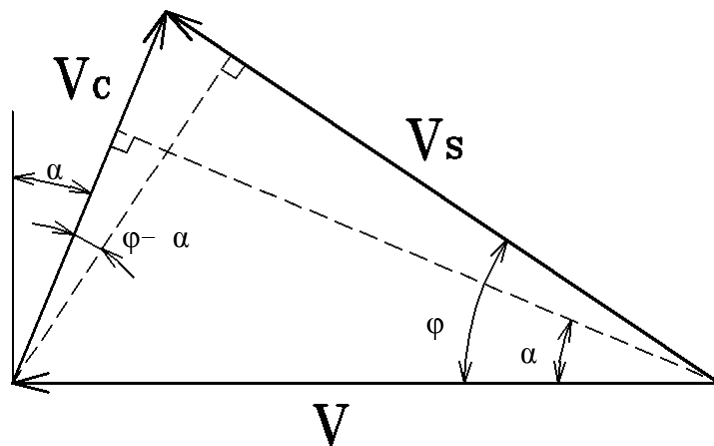


圖 3.5 切屑形成的速度

3.5 加工的表面品質

工業界所用零組件的尺寸精度重要，零組件的表面粗糙度也非常重要，工件表面的輪廓看似一均勻平坦的線，若放大以顯微鏡觀察切削加工面時，卻發現呈現不同程度凹凸切痕，工件表面的凹凸程度與紋路狀態，稱之為表面粗糙度（Surface roughness）【10】；加工面的表面粗糙度大小是品質的重要因子，其對機械零件的耐磨性、潤滑性、精密度、噪音、壽命、大量生產等均有密切關係，所以施行精密加工的重要目的之一就是減小加工面的粗糙度。

粗糙度的表示方法通常採用最大高度法(Maximum height, R_{max})、中心線平均粗糙度(Centerline average height, R_a)和十點平均粗糙度(Ten point height, R_z)三種。本文表面粗糙度的表示將皆以中心線平均粗糙度表示；而中心線平均粗糙度的定義為在粗糙度的斷面曲線中，其基準長度內中心線兩側被斷面曲線包圍之面積相等。

然而在實際的加工情況中，被加工件的表面粗糙度，是由理想表面粗糙度(Ideal surface roughness)與自然表面粗糙度(Natural surface roughness)所組成，且二者是彼此獨立而無關的。

理想表面粗糙度是依據刀具的幾何形狀、進給速率和切削速度等加工條件，並且假設積屑刃口、機械震動等不利因素皆不發生的狀況下，依理論推導出用以表示加工表面的粗糙度情況，所以又稱之為理論表面粗糙度(Theoretical surface roughness)，可由刀具不同可區分為如圖 3.6 刀具鼻尖有一圓弧 R 角，及圖 3.7 刀具鼻尖 R 角為零，所以一般可用以下近似公式表示：

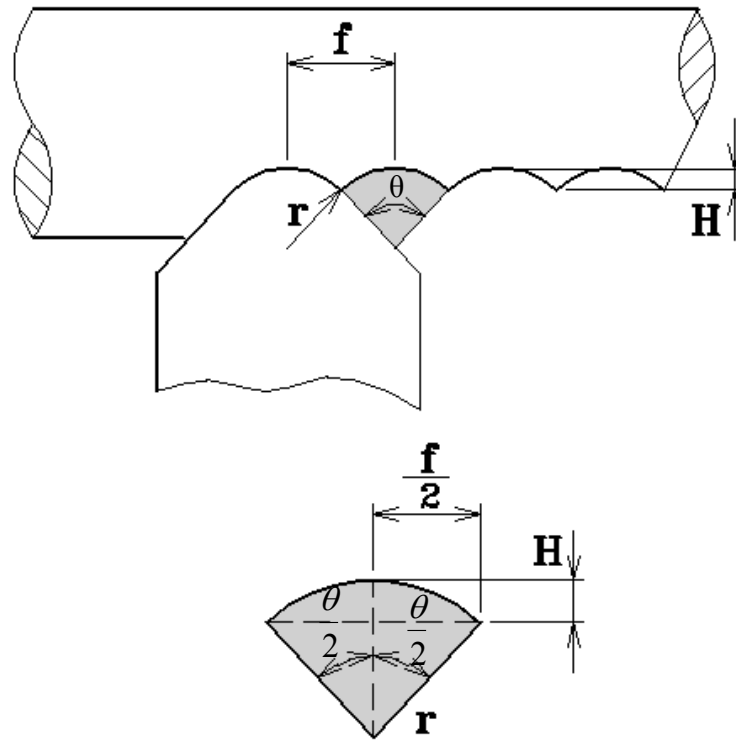


圖 3.6 切削刀具為圓鼻刀尖

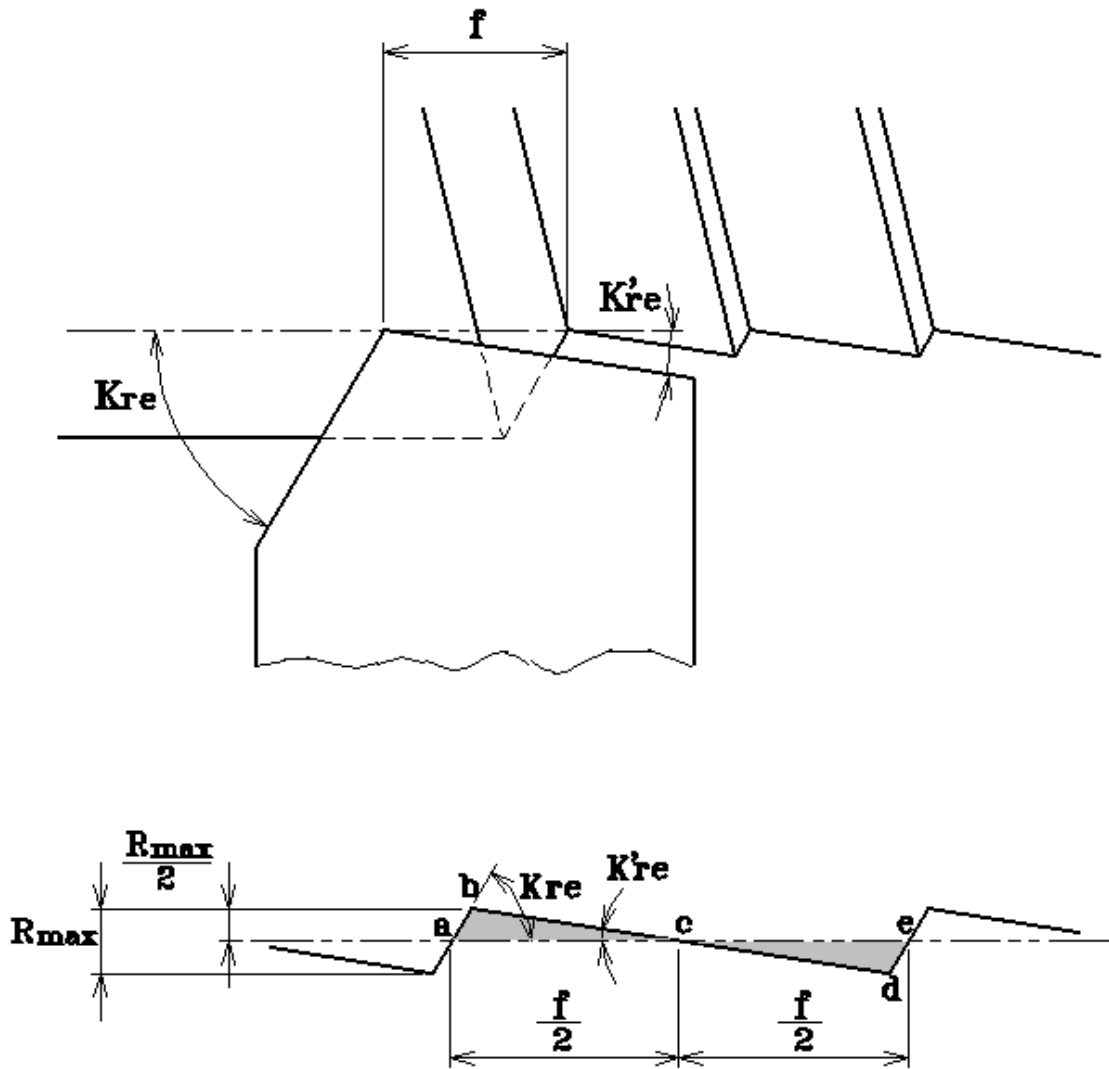


圖 3.7 切削刀具無刀鼻圓角【25】

由圖 3.6 可得，

$$H = r \times \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) = 2r \times \sin^2 \frac{\theta}{4} \quad (3.18)$$

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{f}{2r} \quad (3.19)$$

$$\therefore \sin \frac{\theta}{2} = 2 \times \sin \frac{\theta}{4} \cos \frac{\theta}{4} \quad (3.20)$$

當中心角 θ 非常小的時， $\cos \frac{\theta}{4}$ 將會趨近於 1，所以式 (3.20) 可為，

$$\sin \frac{\theta}{4} \cong \frac{1}{2} \sin \frac{\theta}{2} \quad (3.21)$$

將式 (3.19) 及式 (3.21) 代入式 (3.18) 可得，

$$H = 2r \times \left(\frac{1}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right)^2 = 2r \left(\frac{1}{2} \times \frac{f}{2r} \right)^2 = \frac{f^2}{8r} \quad (3.22)$$

而切削刀鼻圓弧為零的理論粗糙度可由圖 3.7 可得， R_a 可由三角形 abc 和三角形 cde 之面積和除以取樣長度，所以 R_a 可表示為：【25】

$$R_a = \frac{\Delta abc + \Delta cde}{f} \quad (3.23)$$

其中三角形 abc 和三角形 cde 面積相等，所以(3.23)式可為

$$R_a = \frac{2}{f} (\Delta abc) = \frac{2}{f} \left(\frac{1}{2} \times \frac{f}{2} \times \frac{R_{\max}}{2} \right) = \frac{R_{\max}}{4} \quad (3.24)$$

$$R_{\max} = \frac{f}{\cot k_{re} + \cot k'_{re}} \quad (3.25)$$

$$\therefore R_a = \frac{f}{4(\cot k_{re} + \cot k'_{re})} \quad (3.26)$$

由式 (3.22) 及式 (3.26) 可見，進給量 f 、刀具主偏角 k_{re} 、刀尖圓弧半徑 r 越小，則切削層殘留面積就越大，表面就越粗糙。以上兩式是理論計算結果，所以稱為理論粗糙度。

對於多刃刀具在製作時，便已有誤差產生，且工具機亦會產生不精確的切削運動，所以刀具在作切削工作時，僅會有一刀刃扮演著支配性角色，故可針對切削刀具僅具單刃而將切削後的表面粗糙度作如式(3.27)所示，而本文所作的切削模式亦是單刃切削，所以亦將以此式作理論粗糙度的評估，並和切削後的實際粗糙度作一比較。

$$R_a = \frac{0.0642}{d} \times \left(\frac{V_f}{N} \right)^2 \times 10^3 \quad (3.27)$$

d = 刀具直徑(mm)

V_f = 進給速度 $\left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right)$

N = 刀具轉速(rpm)

自然表面粗糙度又稱為實際粗糙度，因為它是可以真實的表現出在切削過程中的不完美所造成之結果，然而現實中理想表面粗糙度往往無法實際得到與呈現，反而是自然表面粗糙度較能確實的表示出工件表面的加工品質，自然表面粗糙度可區分為：(1)、切削方向的粗糙度與 (2)、進給方向的粗糙度兩種。前者主要是受切屑生成機制的影響與積屑刃口生成的關係而產生不規則的表面品質，因此切削速度與進給速率為此主要的影響因素；後者則是因為刀尖形狀和進給速率而對於工件表面留下的進給切痕。

所以為了獲得較佳的表面粗糙度，提高切削速度、進給速率的降低、適當的切削速度和刀鼻半徑的大小皆對於粗糙度的改善是有效的；而刀鼻半徑大，刀具接觸到的工件面積也相對較大，表面粗糙度也愈佳，但是過大的刀鼻半徑也易造成切削表面留有顫紋而影響表面品質。

3.6 超精密加工技術在塑膠加工的應用

超精密加工開始於1960年代，早期（約1970~1985）的主要產品為磁碟片、感光滾筒、多面鏡、望遠鏡主鏡…等光學鏡面加工元件，主要追求產品表面粗度（約 $0.005\ \mu\text{mRa}$ ）及形狀精度約 $0.1\ \mu\text{m}$ ）的加工技術。1980以後微細加工（Micro fabrication）技術興起，以日本為主開始研究以超密加工方式加工微結構元件，1985年左右超精車削加工如 Fresnel Lens 的微結構技術開始建立，然後逐漸擴展至如 V-cut 微結構導光板模仁加工，乃至於繞射光學元件模仁加工，逐步將微細結構的尺度推進至 $1\ \mu\text{m}$ 、尺寸精度 $0.1\ \mu\text{m}$ 以內【26】。而這些加工也只是在金屬而已，對於塑料加工的研究中，過去大都以模具射出成形(Injection molding)的方式，製造塑膠零件或半成品，也因此研究大都著重於塑膠的機械性質、熱學性質以及塑料的流變特性。然而為了避免切削加工時，引起塑料工件的變形與熱變質，因此加工時所產生的切屑必須是連續的，為了減少塑料產生過多的熱而導致材料的熱變質，最大切削深度也必須被審慎選擇【10】。

1980年 T.J. Vickerstaff 和 N.Z. Gindy 使用 HSS 刀具切削聚碳酸酯(PC)塑膠材料，並總結出兩點有關切削力於 PC 塑料切削的重要結論：

- 1.當刀具斜角(Rake angle)由負角到正角增加時，切削力會隨之降低。
- 2.當刀具斜角由負角到正角增加時，切削合力的大小與方向也會隨之產生改變。

在慢速切削塑膠時，常會在刀尖前端形成切削瘤，此時加工表面的粗糙度明顯不良，此現象將會隨著切削速度提高而得到改善，此因為切削速度較高時切削熱也會相對提高，而將黏附於刀尖的塑膠熔融。如圖 3.8 是日本大阪大學以高速工具鋼切削 PVC、壓克力等塑膠，當切削速度增加時，刀尖較不易黏附塑膠，改善粗糙度，得到較佳的加工表面【22】。

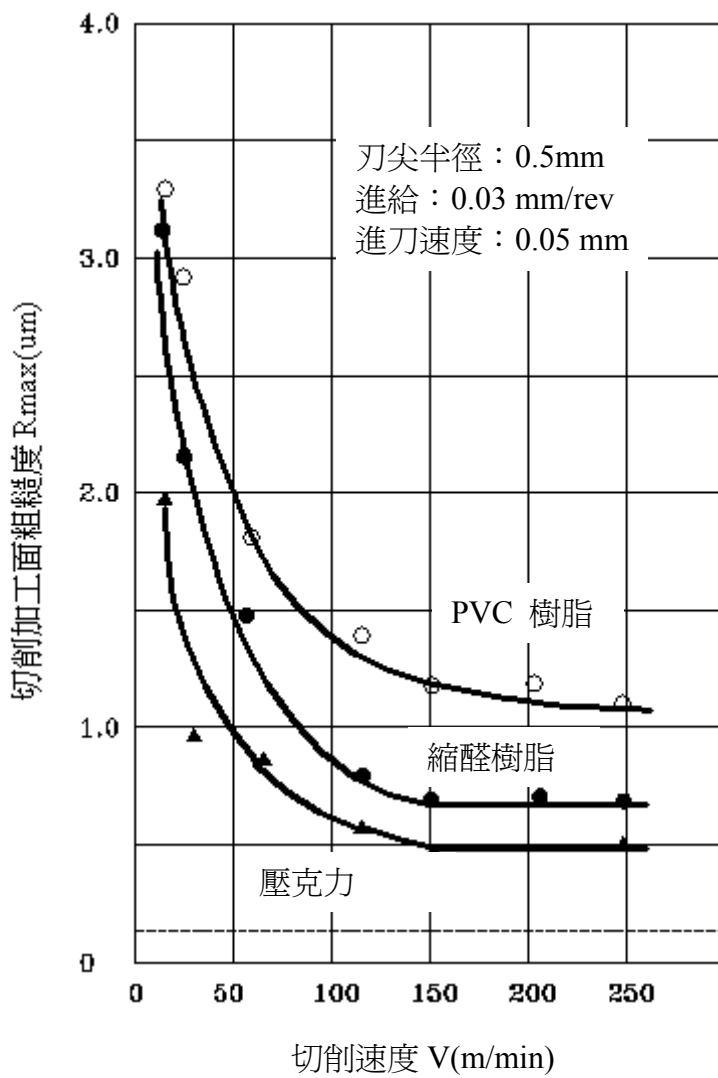


圖 3.8 塑膠切削速度和粗糙度的關係【22】

第四章 導光板入光側精密加工

4.1 實驗目的

本實驗利用華宏新技公司所設計製作的導光板鏡面拋光機 LGA-P3D 為加工平台，依規劃的各項切削條件分別進行實際加工，再以輝度計量測輝度的平均分佈，藉此探討分析各種切削條件和加工面粗糙度的相互關係及對輝度的影響。然後將所獲得之結果求出最佳之切削條件，並以此作為光學參數修改的依據，俾能更準確調整設計參數分佈，而讓光學規格達到生產水準，降低設計開發成本。

4.2 實驗設備

4.2.1 工件材質與規格

實驗使用之工件材料尺寸大小為14.1吋的背光模組的楔形導光板，尺寸規格如圖4.1，以JSW450噸油壓機射出成型，入光面為蝕刻微點製程，且導光板材質為壓克力(聚甲基丙烯酸甲脂，PMMA)。壓克力材質具有優良的光學性能，可將線光源變成面光源，並與光學玻璃相媲美，因兩者之折射率相似，故又被稱為光學塑料，且具有質量輕、易於成型等優點；主要的成型方法有模具射出成型、機械銑削加工等方式，壓克力的原料成本較低，製作簡單、可大量生產化、高透光性及耐有機溶劑佳等優點，所以是目前光電產業應用最多的塑膠原料，但其材質較其它相同用途的PC或 ZEONOR 為脆，所以其耐衝擊性也相對較弱，但仍廣為液晶面板業所採用，其機械性質與特性如表 4.1。

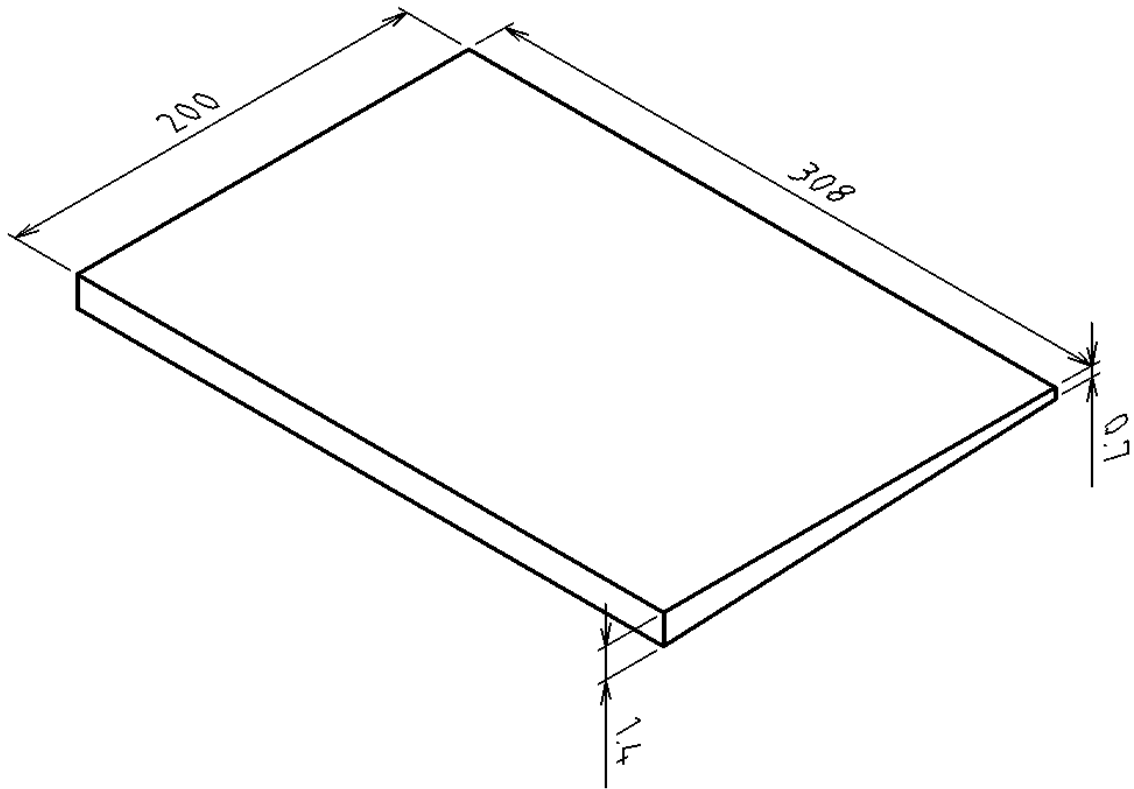


圖 4.1 導光板尺寸規格

表 4.1 壓克力機械性質

材 質 \ 機 械 性 質	抗拉強度 kg/cm ²	壓縮強度 kg/cm ²	彎曲強度 kg/cm ²	洛氏硬度 HRM
壓克力 PMMA	490-770	840-1270	900-1300	85-105

4.2.2 切削刀具規格

爲了讓加工後的導光板的導光效果不會影響輝度有分佈不均的情形，需有良好的加工外形及加工面有好的粗糙度，而鑽石刀爲硬度極高的材質，對非鐵金屬及非金屬材料的高速切削非常適合，可達到無毛邊及鏡面的品質，且以切削矽鋁合金、銅、青銅合金、石墨、玻璃纖維、壓克力等精細加工爲主【15】；所以本實驗將以 60°、90° 及 120° 鑽石刀具爲切削刀具來獲得高精細的加工品質要求；切削刀具的規格及圖示如表 4.2 所示，其刀座如圖 4.2 所示。

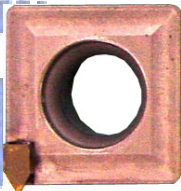
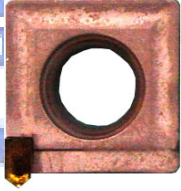
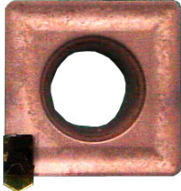
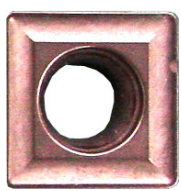
鑽石是目前已知材料中硬度最高者，且在高溫下熱傳導能力亦最佳，具有低磨擦、高磨耗抗性、在切削加工中有保持切刃口銳利的能力，但脆性極高，也因此缺乏韌性，只適合進給小的精細切削加工【6】；鑽石除了硬度高，導熱率相當良好，與其他物質的親和力低，在切削時較不易和切屑產生黏着現象，是作爲刀具的極佳特性，可用於需要良好的表面光度及尺寸精確度之場合，特別是非鐵合金。但在加工溫度上升到約600°C以上時，則刀具成分中的碳經被切削材中擴散流出，造成刀具急劇的磨耗，此爲鑽石刀具的缺點。

近年來工業界已將昂貴的單晶體鑽石(天然鑽石)改爲多晶體鑽石(人造鑽石)，人造鑽石刀具是一層極細的鑽石晶粒燒結砌合在碳化鎢的基座上，經由超高壓及超高溫處理而成；製造時雖沒有使用結合劑，但在碳化鎢內少量之鈷會擴散到表面，當做超硬被覆的結合劑。因燒結鑽石刀具是多結晶體，故結晶方位亦不規則，韌性大爲提高(耐脆裂性)，且在耐磨耗性方面亦無異方性；在切刃尖銳度方面，燒結鑽石刀具若亦有極細粒子，則可得到某程度的尖銳切刃，但單結晶鑽石刀具則無法達到。因此，單結晶鑽石刀具因導熱率高，適於超精密加工及鏡面加工，單結晶鑽石刀具與燒結鑽石刀具的各項特性比較表如表 4.3 所示。

因此，鑽石刀具材質作爲鋁合金、石墨、壓克力等非鐵材料的高速、高精度切削材料可說是最適合不過了，由於其在工具材料中，硬度最高且刀尖能非常尖銳化，理論上可已達到一個原子的厚度，因此可說是一種可用於高速切削以及抑制毛邊的工具材料種類，因此非常符合加工的基本母性原理(Copying principle)【27】，對於邁向高品質切削加工來說，鑽石材質爲不可欠缺的工具材料種類。

超精密切削加工所用的刀具是使用單晶鑽石研磨而成的刀刃，因此，亦稱為鑽石切削加工【11】。單晶鑽石是目前最硬且導熱性佳的物質，為了得到良好的表面粗糙度，必需將單晶鑽石刀研磨成具有銳利切削的刀刃。一般而言，在切削圓筒或平面形狀時，刀刃的形狀通常使用平面形狀，在切削曲面形狀時則使用圓弧的刀刃形狀，因為鑽石的耐衝擊性差，稍為使用不慎即會造成崩角，使切削表面在切削後形狀精度及表面粗糙度劣化。

表 4.2 單晶鑽石刀及配重塊

刀刃材質	刀刃角度	刀具重量(g)	刀具圖示	刀鼻 R 角(um)
單晶鑽石刀	60°	6.1		R=0
單晶鑽石刀	90°	6.1		R=0
單晶鑽石刀	120°	6.1		R=2.6
配重塊		6.1		

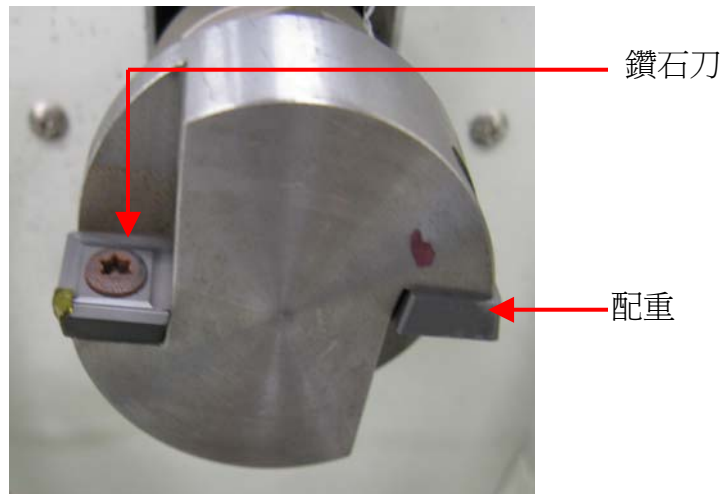


圖 4.2 鑽石刀刀座

表 4.3 鑽石刀具的各項特性

	單結晶鑽石刀具	燒結鑽石刀具
導熱率(cal/cm.s .°C)	2.2~5.0	0.24~0.26
組織	單結晶 I a 型	多結晶 I b 型
異方性	耐磨耗性，裂開性， 有異方性	無異方性
切刃	銳利	依粒子大小而定
資源	天然產量有限	人工製造，產量無限
刀具尺寸	有限制	比較大者亦可製造
維式硬度	HV 9000 以上	HV 6500~8000

4.2.3 微結構加工機

本實驗所採用的是華宏新技公司所設計製作的導光板加工機 LGA-P3D，作楔形導光板入光側微結構切削。本加工機先將產品作端面粗削加工，再經由鏡面加工及端面微結構加工，加工狀態如圖 4.3 所示，實驗用工作母機，如圖 4.4 所示，加工機規格如表 4.4 所示。



圖 4.3 端面微結構加工狀態



圖 4.4 LGA-P3D 加工機

表 4.4 加工機 LGA-P3D 規格

	規格	單位	說明
一般規格	對應導光板尺寸	吋	10~20 吋
	最大加工厚度	mm	6 mm 鑽石刀時，5 mm 導光板 9 mm 鑽石刀時，8 mm 導光板 10.6 mm 鑽石刀時，10 mm 導光板
	加工時間（14”）	秒	30 秒
	導光板夾持方式		真空泵浦吸著與機械式夾持
	拋光方式		端銑刀加工(立式)→鑽石刀 拋光(臥式)→霧面拋光(臥式)
	拋光粗糙度（t6 nm 時）	nm	厚度(上下)方向：Ra 值 12nm 弧度(左右)方向：Ra 值 19.5nm
	作動方式		1. 刀具固定 2. 桌面移動 3. 可躲避凸耳
驅動方式	切削、拋光加工馬達最高轉速	rpm	max：17000rpm(刻度 10rpm)
	切削、拋光加工馬達容量	kw	變頻馬達 2.2kw
	桌面移動馬達容量	w	AC 伺服馬達 400w，8 段可調 速(刻度 0.01%)螺桿傳動
刀具	鑽石刀		單晶鑽石（6mm）
	切削刀		端銑刀（雙刃）
	鑽石刀壽命		2~3 萬片(研磨後可重覆使用)

表 4.4 (續)

電器控制	PLC 可程式控制器		OMRON PLC
	LCD 觸控螢幕操作		黑白 LCD 畫面
電源設備	主機設備容量	KW	5KW
	集塵器設備容量	HP	3HP
	電源規格	V	AC220V 60HZ 3P
	使用空氣壓力	kg/cm ²	5 kg/cm ²
機器規格	機器外觀尺寸 (L*W*H)	mm	1850*765*1450
	集塵器外觀尺寸 (L*W*H)	mm	1030*1010*1900
	機器重量	kg	LGA-P2 : 350kg
特殊規格	桌面角度調整		± 6° (0.1°)
	霧面加工		臥式(不含鑽石刀)
	兩邊加工切換機構		吸著 + 180 度迴轉

4.2.4 輝度計

爲了分析加工後輝度分佈情形，將以日本TOPCON公司所生產的BM-7爲量測機台，量測加工後的導光板所組成的背光模組之 9 點輝度值，BM-7輝度計規格如表 4.5，其量測機台如圖 4.5，量測視角爲 2°、量測距離爲 500 mm，其量測方式如圖 4.6，光學量測位置如圖 4.7所示。

表 4.5 BM-7 輝度計規格【28】

測定角	2° / 1° / 0.2° / 0.1° 切換式
光學系統	<ul style="list-style-type: none"> 對物鏡頭 F2.5 f=80mm 目鏡鏡頭調整範圍 ±5diop
光譜靈敏度	與 CIE1931 色彩匹配職能相似
測定內容	<ul style="list-style-type: none"> 亮度 L 色度 (x, y), (u', v') 三色值 (x, y, z) 色溫 (Tc, duv) CIE 1976 L*a*b* ΔEab* CIE 1976 L*a*b* ΔEuv* 以及各種值與標準值的差：Δ
測定範圍	0.01~12,000,000 cd/m ²
測定距離	350mm~∞ (從對物鏡頭前計算)
色度精度	<ul style="list-style-type: none"> ±0.002 以內 (A 光源測定時) ±0.01 以內(O-55,Y-48,T-44,A-73B,IRA-05) ±0.03 以內(R-61,B-46,V-44,G-54) A 光源+彩色玻璃濾光鏡測定時 測定條件：23°C，測定角 2°，10cd/m² 以上，自動範圍
輸出	數位式輸出 (介面：GP-IB 或是 RS-232C)
測定時間	約 2 秒
電源	交流電源適配器 50/60Hz, 5W 以內
使用條件	溫度 0~40C, 濕度 85RH 以下
外形尺寸	約 325(L)x120(W)x167(H)
重量	約 3 公斤 (主機重量)



圖 4.5 BM-7 輝度計

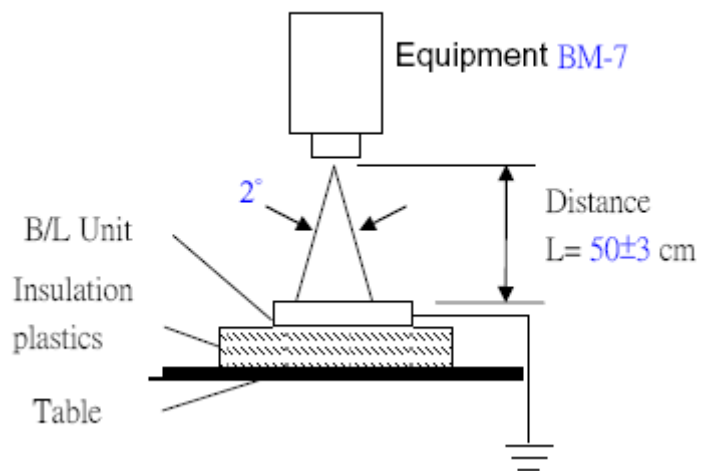


圖 4.6 輝度量測方式

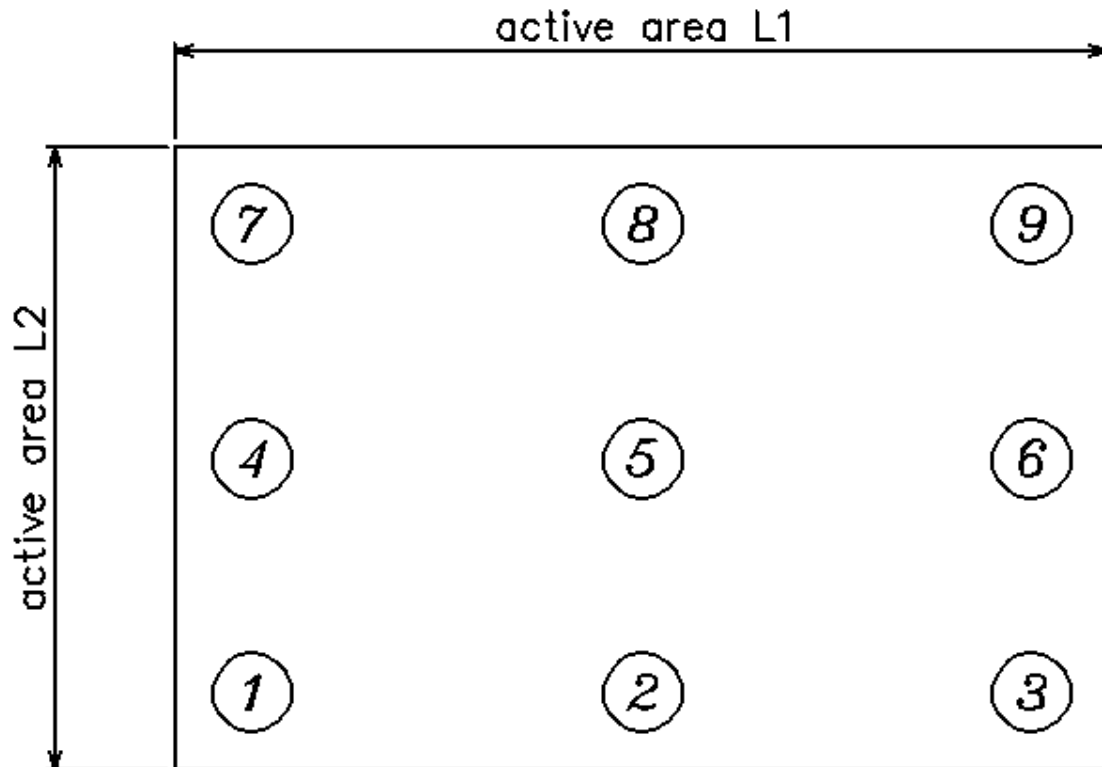


圖 4.7 光學量測位置

4.2.5 雷射共軛焦數位顯微鏡

經由加工機切削完成的導光板，為瞭解其加工深度及表面粗糙度，需利用精密的數位顯微鏡來量測，【29】由 KEYENCE所開發的VK-9500雷射共軛焦數位顯微鏡是藉「極小針孔」機構可以檢測出正確的焦點位置，此外在鏡頭移動機構上加上「高精度線性尺標」，在Z方向上可以確實的將鏡頭進行移動之故，實現了 $0.01 \mu\text{m}$ 的分解能力，而「超深度影像」的獲得，就是運用此二種高度功能的相互搭配進而得到的Z軸(高度測定)資訊，分別將焦點位置(完全對焦)上彩色CCD照相機的真實彩色影像進行重疊。雷射的反射光量畫面以及各個焦點位置上的彩色資訊是成功的結合嶄新技術所獲得的，儀具外型如圖 4.8。



圖 4.8 雷射共軛焦數位顯微鏡

4.3 實驗設計

爲了使實驗的變數能趨於一致，導光板實驗樣品於相同的時間，及同一模具及網點設計，射出成型後取出成品施以熱剪將料道去除，再放置於成品盤中靜置，使得成品能冷卻及讓射出應力得以趨於穩定狀況，便於作切削加工時能得到最佳加工品質，整個實驗加工步驟如下：

1. 更換鑽石刀具及相對應的配重塊，以期在作加工時減少振動。
2. 設定機台的切削深度爲 $35 \mu\text{m}$ ，以及微溝間距爲 $100 \mu\text{m}$ 。
3. 放置導光板成品於床台上，並必需出光面朝下放置，如此切削後之結構才

能垂直於出光面，不會影響入光效果，其放置方式如圖 4.9。

4. 設定切削速度，作端面粗切削、精切削及微結構切削，其微結構切削加工情形，如圖 4.10所示。
5. 以相同的背光模組，並以BM-7機台量測每一片樣品的 9 點輝度，記錄入光側三個量測點的輝度資料，如圖 4.11 所示。
6. 以雷射共軛焦數位顯微鏡量測樣品的切削面之粗糙度。

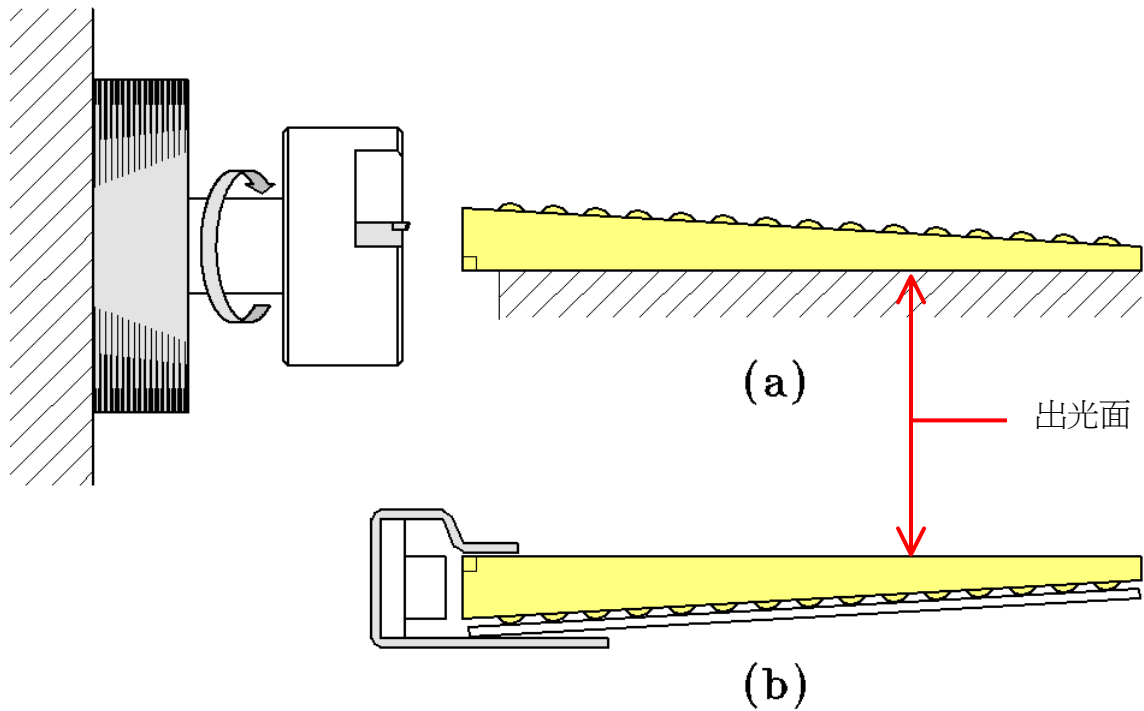


圖 4.9 (a)端面切削導光板固定方式 (b)導光板組立方式

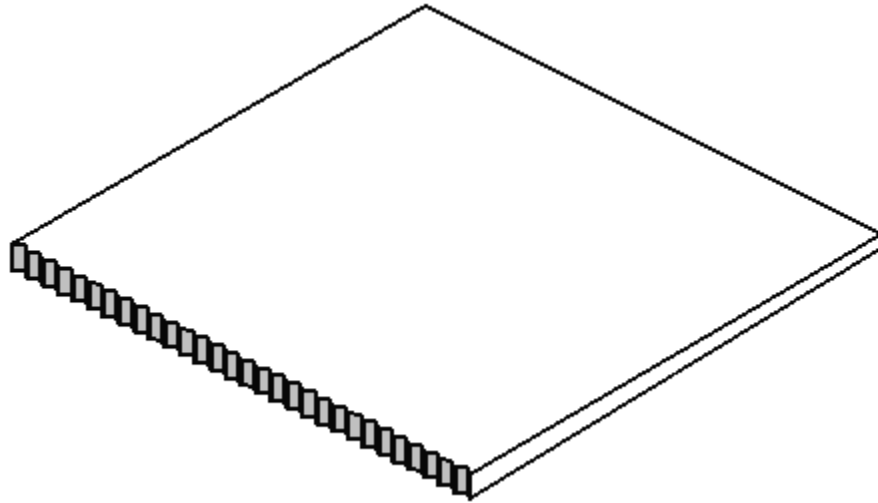
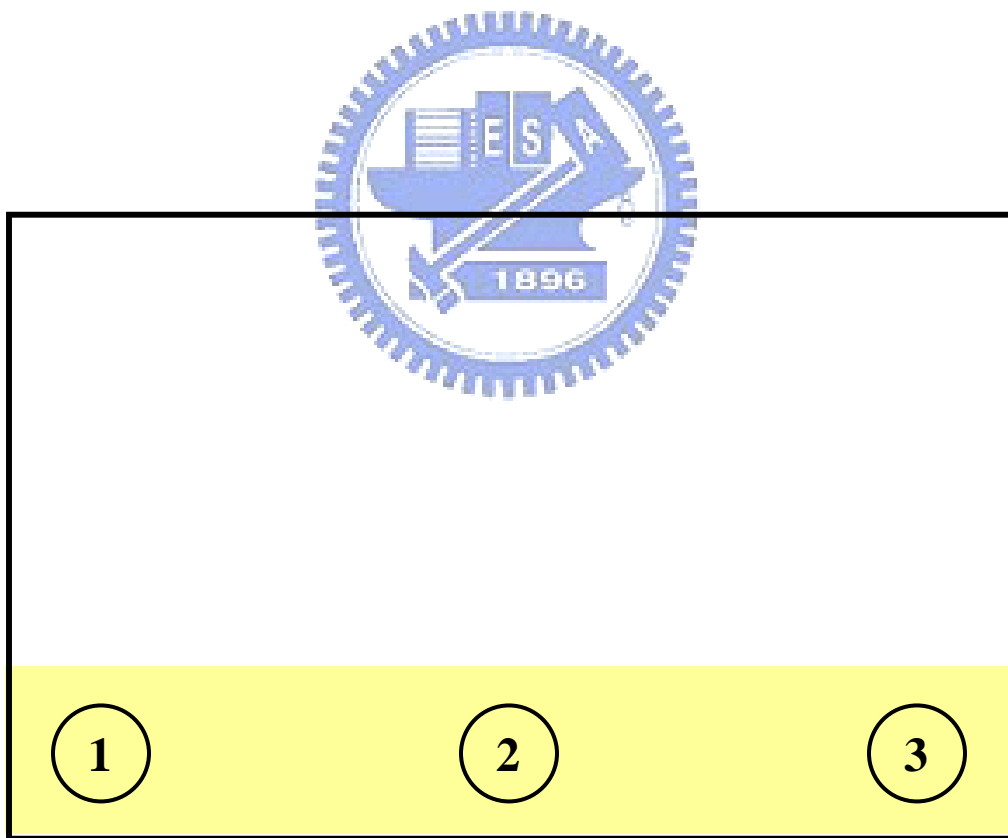


圖 4.10 導光板入光面微結構切削加工情形



入光側

圖 4.11 輝度量測點位置

第五章 實驗結果與分析

本研究是以切削理論結合實際切削為基礎，配合實驗的執行，並量測各組切削後的光學分佈，再分析每組切削面的粗糙度，以建構最佳切削條件，並獲得高品質的導光板，以下為相關的實驗結果與分析。

5.1 輝度分佈的量測結果

依據 4.3 節的實驗規劃分別以 60°、90°、120°三種不同刃角的鑽石刀來作切削實驗，並設定機台的切削轉速從6000 rpm 到10000 rpm，每200rpm作一區段調整，其中機台的裝置單晶鑽石刀的刀座直徑為50mm，則可以由式3.15得到每個切削轉速的切削速度，所以當切削轉速為6000rpm的切削速度可為：

$$V = \frac{\pi \times 50 \times 6000}{60 \times 1000} = 15.7(\text{m/sec})$$

所以刀具便以此切削速度作導光板入光端面微細V溝的切削加工，經由輝度量測其輝度的分佈情形，如圖 5.1是以60°單晶鑽石刀在各種切削速度下加工導光板，每一組導光板輝度量測平均值，其中最高輝度為2924(nit)，最低輝度為2671(nit)。雖然平均輝度值的曲線會隨切削速度的增加而呈頻率漸緩的上下振盪趨勢，但整體而言平均輝度值會隨切削速度的增加而上升。90°單晶鑽石刀的切削實驗結果所量測的輝度值分佈則如圖5.2所示，其中最高輝度值為2918(nit)，最低輝度值則為2772(nit)，而輝度與切削速度的關係類似60°刀具之狀況。而120°單晶鑽石刀的切削實驗結果所量測的輝度值分佈則如圖5.3所顯示，可以得到最高輝度值是2897(nit)，其最低輝度則為2702(nit)，輝度與切削速度的關係仍呈振盪走大之趨勢。也由此三種不同角度的單晶鑽石刀的切削結果看出，當在切削速度在21.5(m/sec)以上時所切削加工的導光板，整個輝度的都會明顯有較高表現，且有相當的穩定度。

將此三種角度切削實驗所得的輝度值作一比較，如圖5.4所示，可以發現以90°的單晶鑽石相較於60°及120°的刀具所加工的輝度值會有較高表現。至於為何輝度值會隨切削速度的增加而呈頻率漸減的振盪放大趨勢，則有待深入探究。

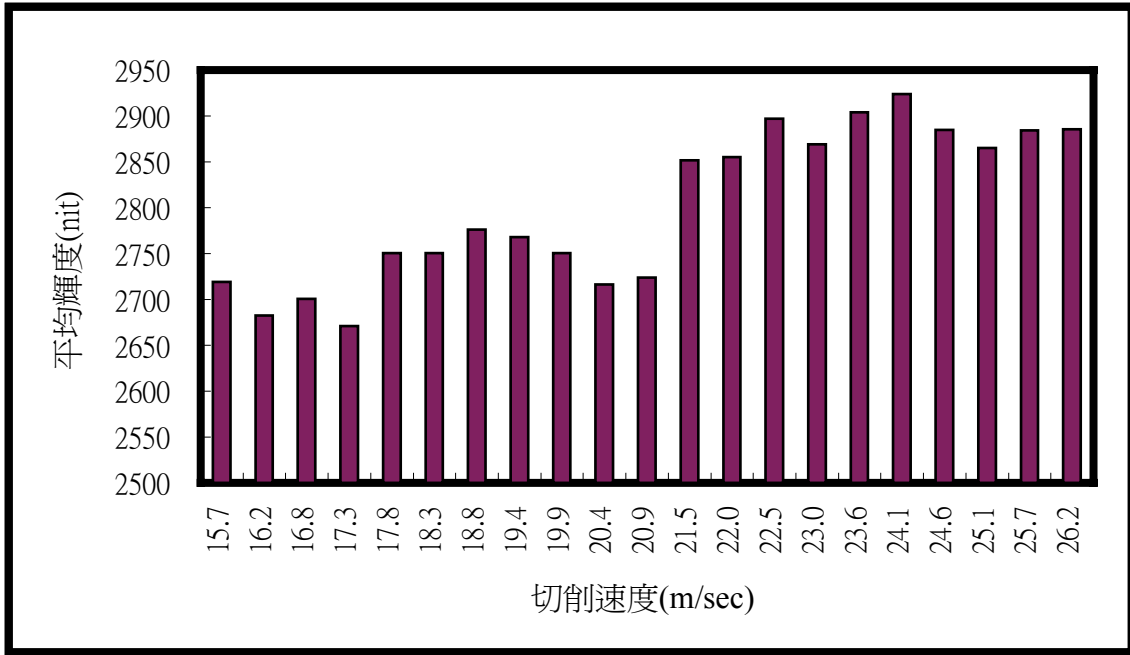


圖 5.1 以 60°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值

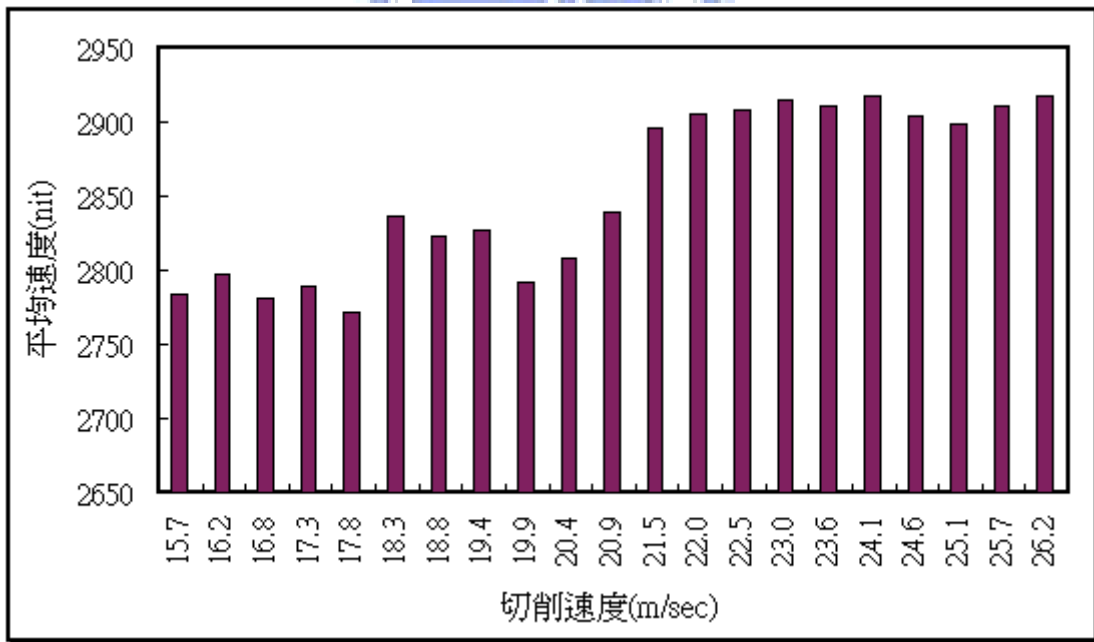


圖 5.2 以 90°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值

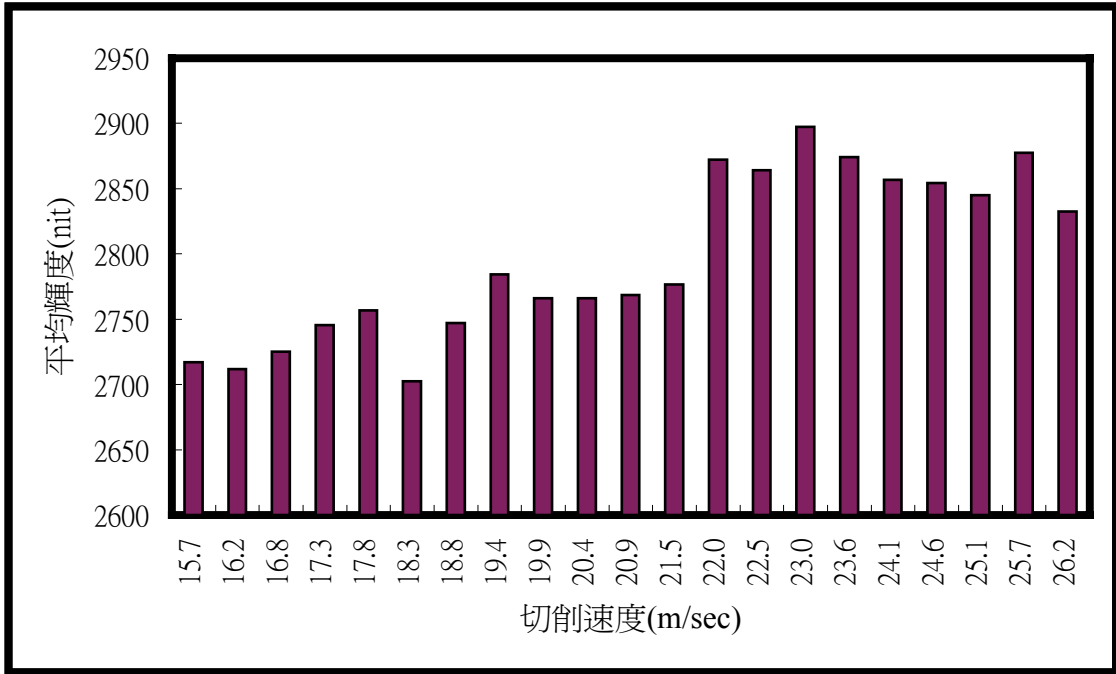


圖 5.3 以 120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度量測值

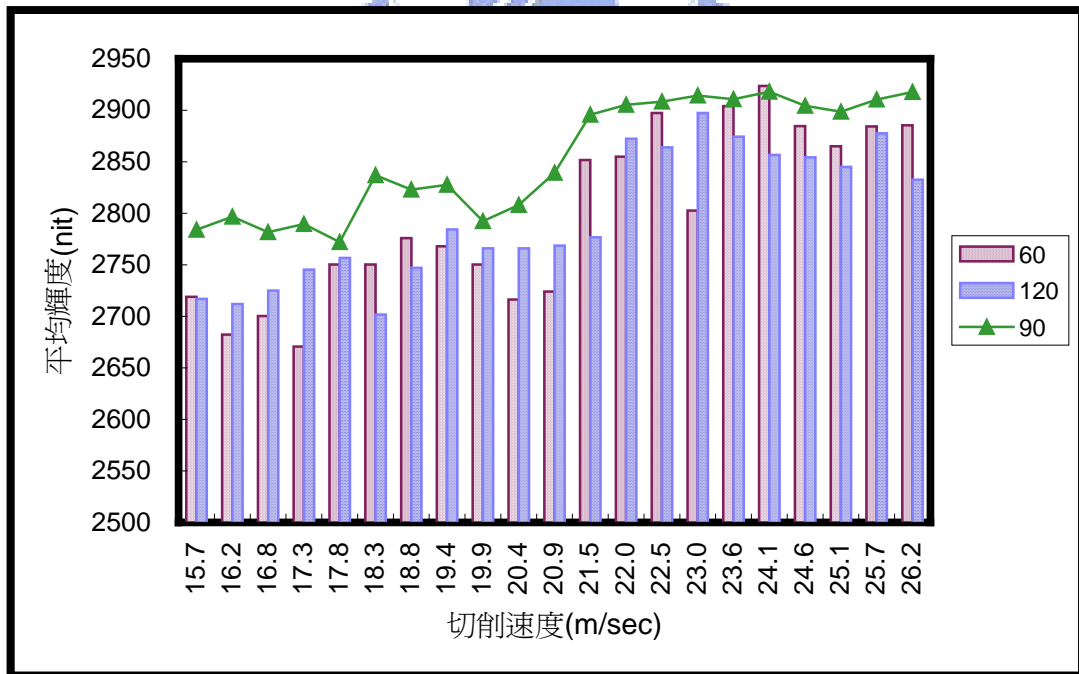


圖 5.4 60°、90°、120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的輝度比較

5.2 理論粗糙度與V微結構粗糙度量測

在切削加工的研究文獻，大都針對金屬材料作切削的各種現象加以探討，對於塑膠材料的切削加工則並太多的調查，而本實驗針對導光板壓克力入光側端面V溝加工的切削方式是近似於單刃的銑削加工，所以本實驗將以式(3.27)來討論此切削模式的理論粗糙度，並藉此來了解實際切削所得到的粗糙值之間的差異。在以相同的進刀速度(V_f)為 2250 mm/min、銑刀直徑為50 mm在切削轉速為 6000 (rpm)至 10000 (rpm)，並且由式3.15可計算切削速度為：

$$V = \frac{\pi \times 50 \times 6000 \sim 10000}{60 \times 1000} = 15.7 \sim 25.7(\text{m/sec})$$

，所計得的切削速度和理論粗糙度的關係如圖 5.5 所顯示。當切削轉速提高時，則粗糙度值將會減小，也就是以較高的切削速度作切削加工時，將可得到較好的加工表面及精度。

根據此理論本實驗亦將針對所加工的導光板，每一樣品取3段以雷射共軛焦數位顯微鏡來量測加工面的粗糙度，如圖 5.6，並整理其平均值以減少其誤差，來討論因切削速度的變化所產生的加工粗糙度對於光學分佈的影響；如表5.1為60°角的單晶鑽石刀以各種切削速度所加工的導光板端面，以雷射共軛焦數位顯微鏡所量測的表面粗糙度值，其中最大平均粗糙度4.11(um)，其最小平均粗糙度值為1.52(um)；而表5.2為90°角的單晶鑽石刀以各種切削速度所加工的導光板端面所測得的粗糙度值，最大平均粗糙度為3.81(um)，最小平均粗糙度為1.40(um)；120°角的單晶鑽石刀以各種切削速度所加工的導光板端面粗糙度值，如表5.3所示，其中最大的平均粗糙度為3.63(um)，最小平均粗糙度值為1.60(um)，從三種不同角度的切削情形看來，當切削速度提高時則所切削的表面粗糙度會較小，也就是表面會較光滑。

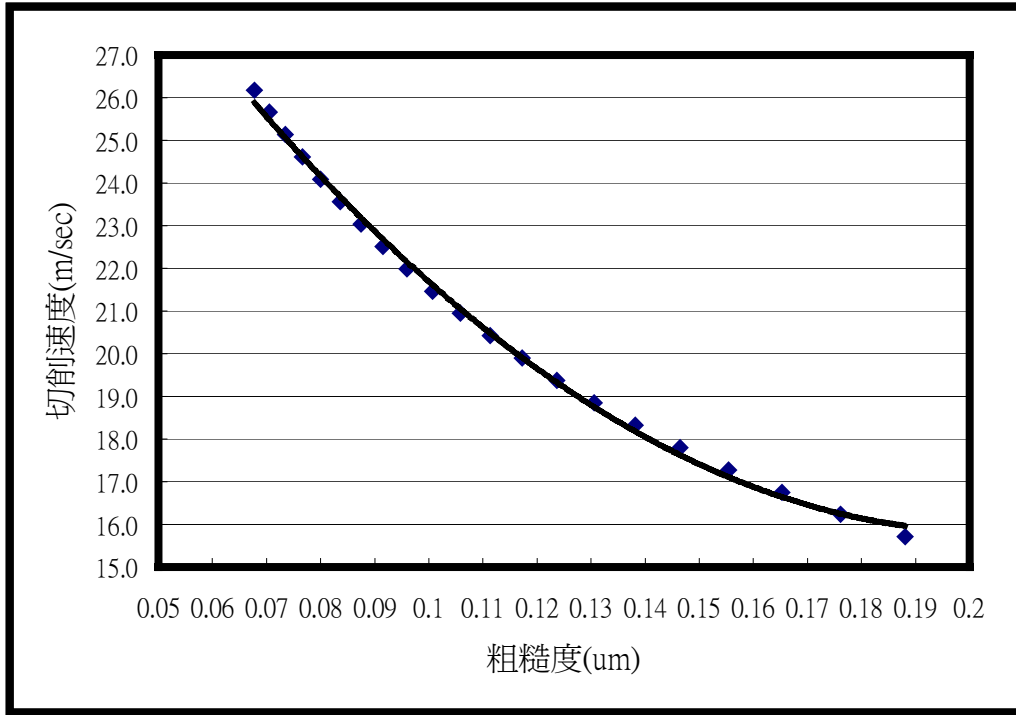


圖 5.5 切削速度與所得工件的理論粗糙度的關係

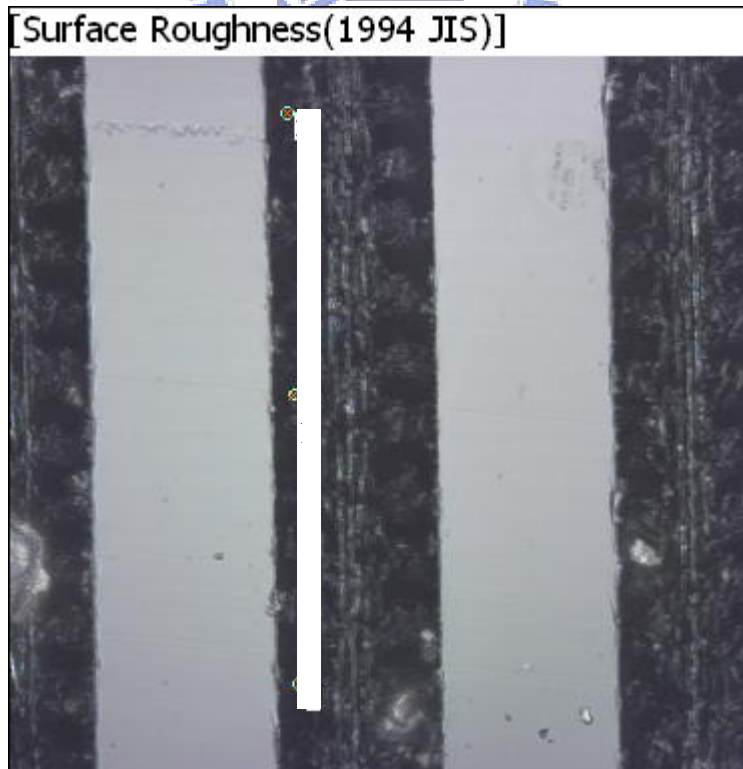


圖 5.6 微 V 溝表面粗糙度量測

表 5.1 以 60°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的粗糙度量測值

切削轉速 (rpm)	切削速度 (m/sec) (刀座直徑 50mm)	粗糙度(um)			
		量測點 1	量測點 2	量測點 3	平均值
6000	15.7	3.69	3.88	4.37	3.98
6200	16.2	2.68	3.16	4.37	3.40
6400	16.8	3.15	4.42	4.77	4.11
6600	17.3	3.87	4.06	3.95	3.96
6800	17.8	2.91	3.40	3.29	3.20
7000	18.3	2.67	2.96	2.27	2.63
7200	18.8	3.75	1.75	2.20	2.57
7400	19.4	2.84	2.79	2.94	2.86
7600	19.9	2.81	4.18	2.14	3.04
7800	20.4	2.81	3.18	2.74	2.91
8000	20.9	3.07	2.41	1.90	2.46
8200	21.5	1.53	2.21	1.83	1.86
8400	22.0	2.64	2.01	1.52	2.06
8600	22.5	0.85	1.02	2.41	1.43
8800	23.0	2.60	1.74	1.59	1.98
9000	23.6	1.66	1.44	1.46	1.52
9200	24.1	1.48	2.15	1.05	1.56
9400	24.6	1.69	1.77	1.81	1.76
9600	25.1	1.77	1.24	1.75	1.59
9800	25.7	1.52	1.58	1.60	1.57
10000	26.2	1.69	1.58	1.46	1.58

表 5.2 以 90°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的粗糙度量測值

切削轉速 (rpm)	切削速度 (m/sec) (刀座直徑 50mm)	粗糙度(um)			
		量測點 1	量測點 2	量測點 3	平均值
6000	15.7	3.40	3.73	3.83	3.65
6200	16.2	3.01	4.10	3.45	3.52
6400	16.8	4.02	4.25	3.00	3.76
6600	17.3	3.21	4.52	3.67	3.80
6800	17.8	3.81	3.85	3.31	3.66
7000	18.3	3.62	3.41	3.64	3.56
7200	18.8	3.45	3.89	4.10	3.81
7400	19.4	3.51	3.22	3.30	3.34
7600	19.9	2.86	3.04	3.70	3.20
7800	20.4	2.26	2.62	2.19	2.36
8000	20.9	2.67	2.06	1.85	2.19
8200	21.5	2.12	2.35	2.12	2.20
8400	22.0	2.15	1.56	2.04	1.92
8600	22.5	2.08	1.24	1.42	1.58
8800	23.0	1.88	1.30	1.01	1.40
9000	23.6	1.40	1.42	1.76	1.53
9200	24.1	2.05	1.67	1.65	1.79
9400	24.6	1.38	1.44	2.18	1.67
9600	25.1	1.77	1.79	1.67	1.74
9800	25.7	1.34	1.52	1.75	1.54
10000	26.2	1.56	1.54	1.45	1.52

表 5.3 以 120°單晶鑽石刀在各種切削速度下所得背光模組的粗糙度量測值

切削轉速 (rpm)	切削速度 (m/sec) (刀座直徑 50mm)	粗糙度(um)			
		量測點 1	量測點 2	量測點 3	平均值
6000	15.7	3.89	3.04	3.10	3.34
6200	16.2	3.71	3.55	3.63	3.63
6400	16.8	3.20	2.87	3.34	3.14
6600	17.3	3.62	2.64	3.11	2.12
6800	17.8	2.98	3.74	2.86	3.19
7000	18.3	3.28	3.03	3.11	3.14
7200	18.8	2.94	3.35	3.12	3.14
7400	19.4	3.04	2.06	2.43	2.51
7600	19.9	3.03	1.84	2.13	2.33
7800	20.4	2.21	2.87	2.51	2.53
8000	20.9	2.18	2.23	2.18	2.20
8200	21.5	2.36	2.23	1.90	2.16
8400	22.0	2.28	2.28	1.52	2.03
8600	22.5	1.68	1.38	1.66	1.57
8800	23.0	1.73	1.26	2.65	1.88
9000	23.6	1.91	1.35	1.55	1.60
9200	24.1	1.46	2.18	1.41	1.68
9400	24.6	2.82	1.08	1.58	1.83
9600	25.1	1.38	1.04	2.45	1.62
9800	25.7	2.16	1.82	1.72	1.90
10000	26.2	1.89	1.64	1.80	1.78

5.3 切屑表面變化觀察

在切削速度不同的切削加工時，對於加工面的粗糙度會有相當程度的影響，所以顯微鏡觀察切屑的表面變化，可以看出壓克力的切削為龜裂型的切削，如圖5.7所示，隨著切削速度增加時，切削溫度也將上升，讓工件材料軟化，切削阻力也減少，讓龜裂的距離減小，也能引證當切削速度較高時切削面粗糙度會較小的因素，圖5.8是以雷射共軛焦量測切屑龜裂的距離，及表5.4是以90°單晶鑽石刀在不同切削速度下所得的量測數據。


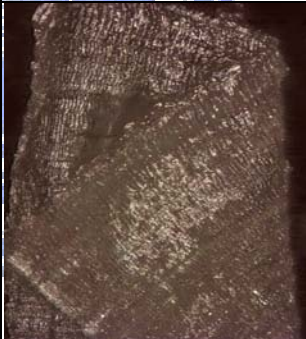

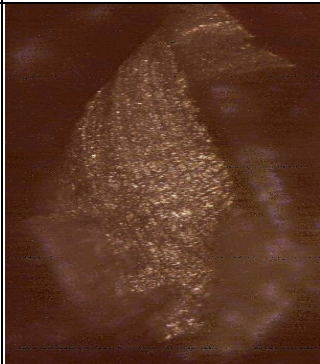

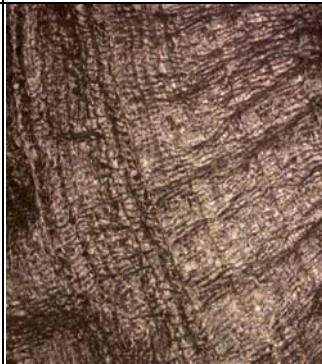
放大 切屑 速率 (m/sec) 度	200X	400X	1000X
15.7 (6000 rpm)			
20.9 (8000 rpm)			

圖 5.7 以 90°單晶鑽石刀在不同切削速度下所得切屑的外觀形狀

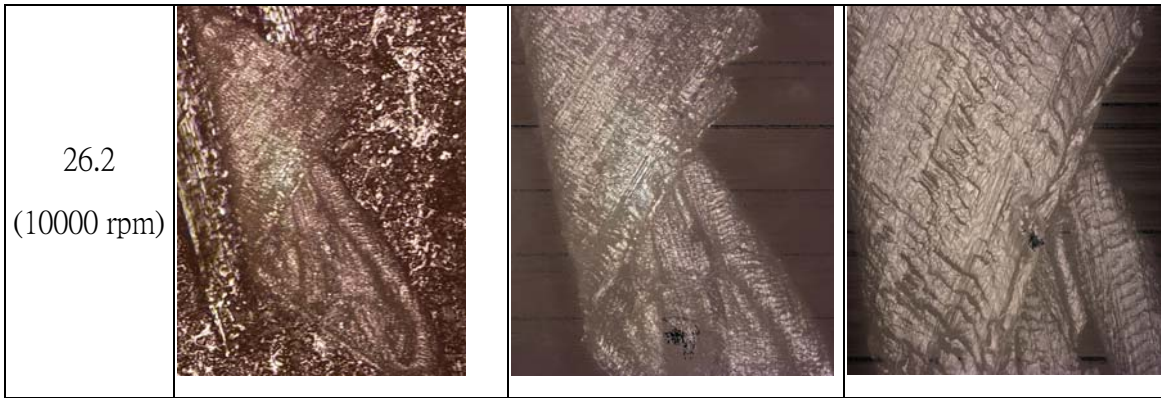


圖 5.7(續)

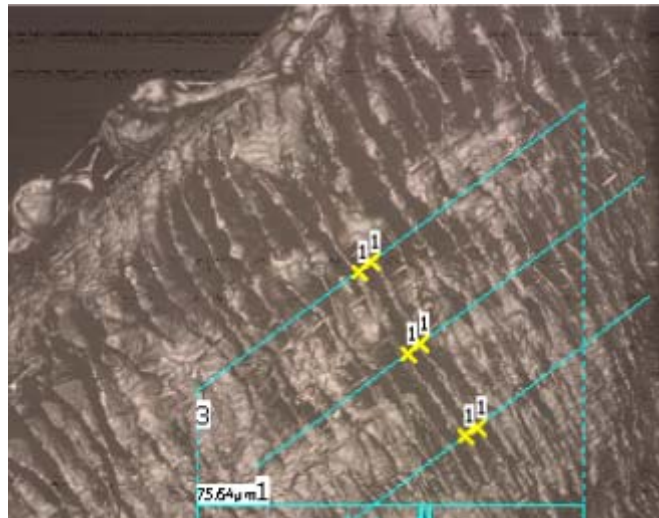


圖 5.8 切削屑的外觀龜裂痕跡距離量測

表 5.4 以 90°單晶鑽石刀在不同切削速度下所得切削屑的外觀裂痕距離量測數據

切削速度 (m/sec)	數據 1 (um)	數據 2 (um)	數據 3 (um)	數據 4 (um)	數據 5 (um)	數據 6 (um)	平均值 (um)
15.7(6000 rpm)	3.27	3.55	3.22	3.22	4.71	1.98	3.325
20.9(8000 rpm)	3.22	2.97	1.01	3.60	3.03	3.01	2.806
26.2(10000 rpm)	2.98	1.98	2.64	1.01	1.99	1.03	1.938

5.4 切削速度和光學輝度的關係

不同切削速度所切削加工的導光板，經由量測輝度及切削表面的粗糙度值，可以整理出如下列圖示，顯示切削速度和所得粗糙度的關係及粗糙度和輝度值的關係，可以明顯地觀察到切削速度愈快則所切削出的加工面愈光滑，也就是表面粗糙度較佳，因在較慢速切削壓克力塑膠時，在刀尖前端較易附着切屑，讓切削表面形成較紊亂的刀痕，而這些附着的異物會隨著切削速度的增加所造成的切削溫度上升而消滅；另當切削速度增加時，切削阻力也會相對減少，而讓切削形成流動形切屑，也使得加工表面較易達到光滑。

在光的傳遞上，鏡面度較佳的介質會有較好的折射能力，所以當背光模組光源藉由導光板入光端面作光傳遞功能時，則端面光滑度愈高則光透過的量愈多，如此輝度的表現愈好，相反地，若入光側的粗糙度過大，讓背光模組光源在入光側即作過多的漫射情形，讓光無法有效傳遞至導光板內，以致輝度將會有所差異，所以在導光板端面粗糙度和輝度的關係圖示中可以顯示，當粗糙度較小時所量測的輝度值較高，而粗糙度較大時的輝度也相對較低。而以下圖 5.9，圖5.11，圖5.13分別為60°、90°、120°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係，而圖 5.10，圖5.12，圖5.14也分別整理出60°、90°、120°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係。從所得各趨勢可以分析出，在同為2 μ m粗糙度的條件下，60°刀具所加工的導光板輝度約為2825 (nit)，90°刀具所加工的導光板輝度約為2880 (nit)，120°刀具所加工的導光板輝度約為2825 (nit)，也可以從而得到一個經驗值為，90°的 V微結構是這三種刀刃角中對於導光板入光面的最佳切削角度。

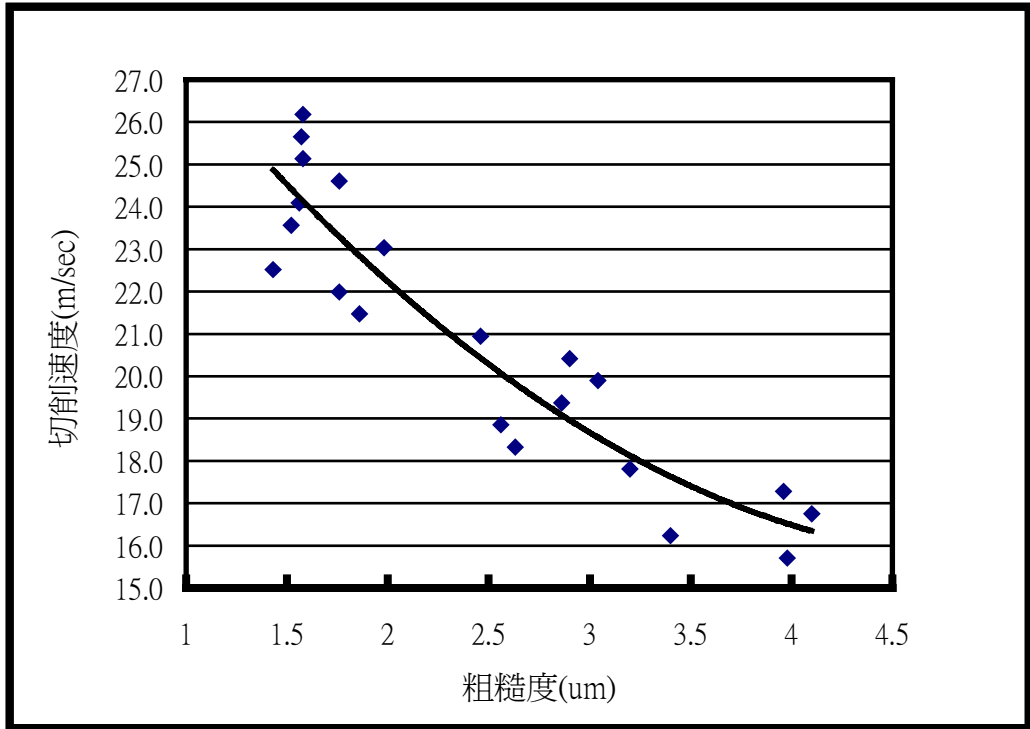


圖 5.9 使用 60°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係

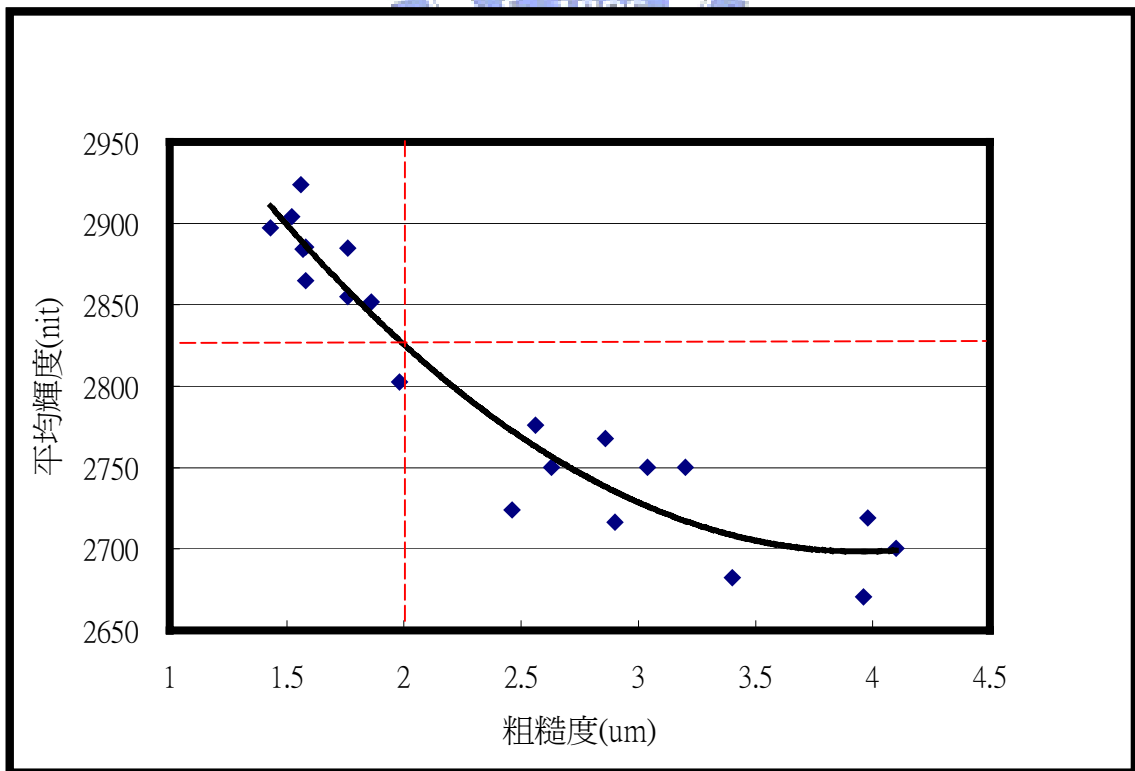


圖 5.10 以 60°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係

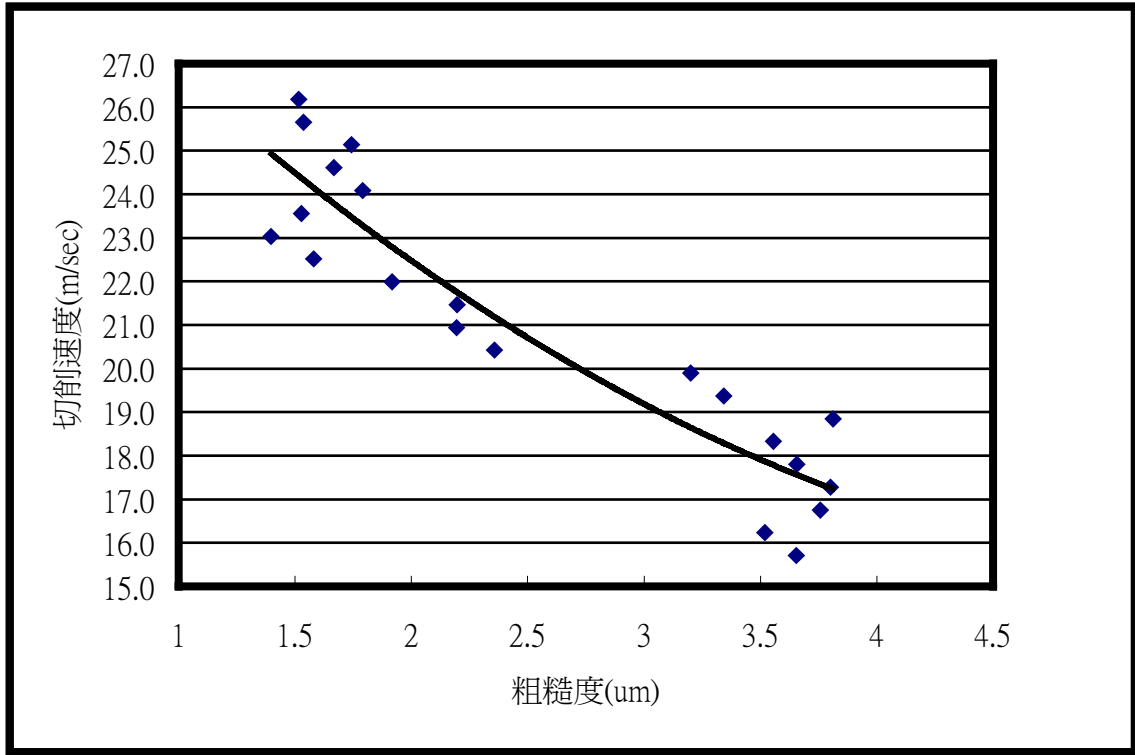


圖 5.11 使用 90°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係

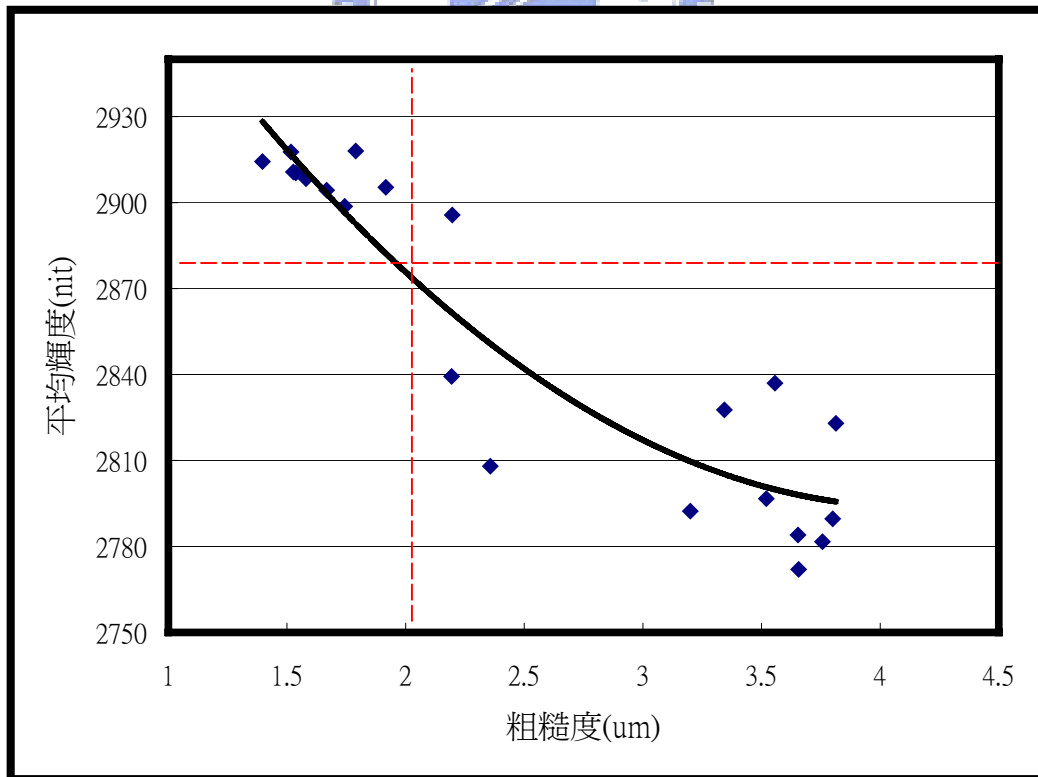


圖 5.12 以 90°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係

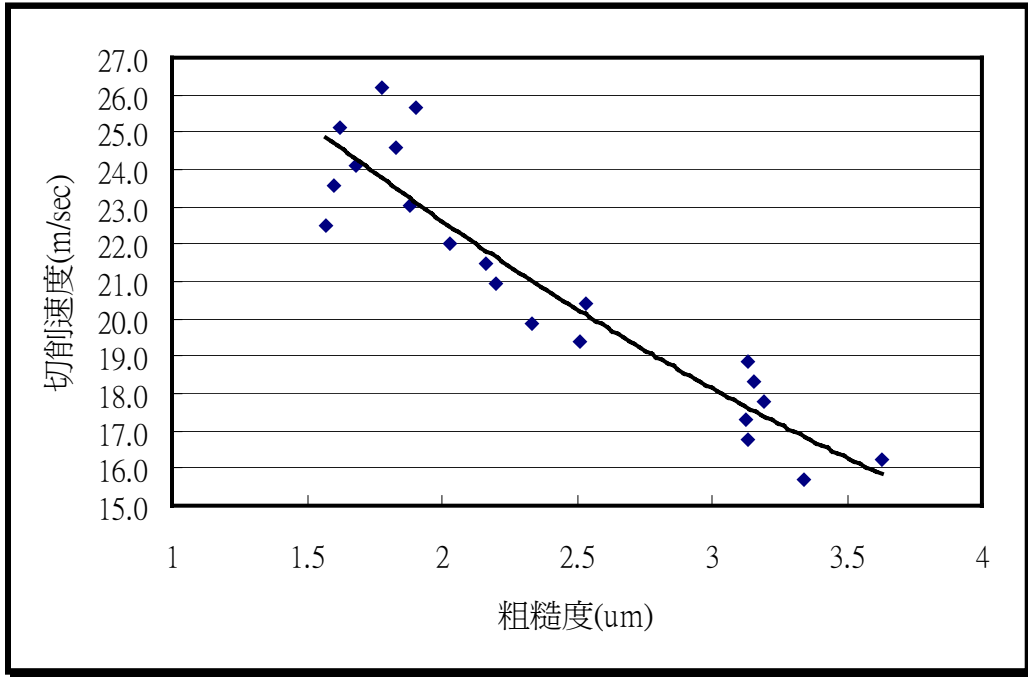


圖 5.13 使用 120°單晶鑽石刀時切削速度和所得工件粗糙度的關係

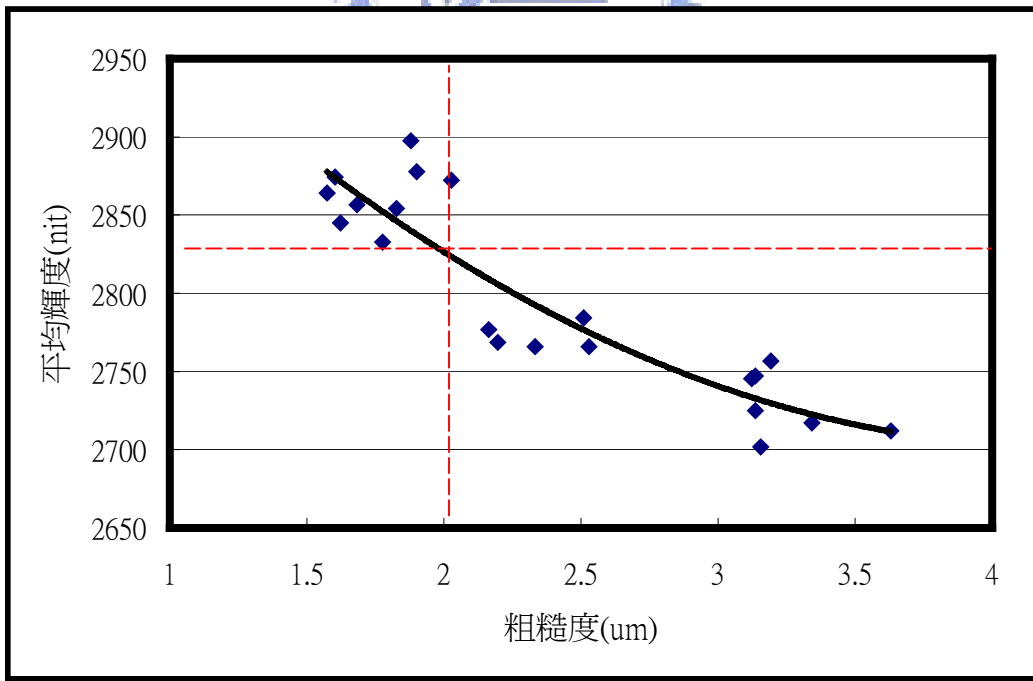


圖 5.14 以 120°單晶鑽石刀加工所得導光板端面的粗糙度和輝度的關係

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究的目的主要是探討導光板入光側在各種不同的切削速度加工下，其所得到的光學輝度表現，期望經由此實驗的探討獲得最佳的參數組合，並藉此建立切削速度和光學輝度分佈的關係，並以此作為光學設計的依據；以下是本研究所得到的結論：

- 1.由於鑽石刀具有高硬度的特性，對非鐵金屬及非金屬材質的高速切削相當適合，經實驗證實其可達成無毛邊及鏡面加工的能力，因此，對於導光板的切削，可以得到光滑的切削表面，而獲得較高輝度的效果。
- 2.在切削速度較高的條件，對於壓克力的材料會得到較佳的完工表面粗糙度，也就是導光板在較高的切削轉速下所得到的微結構表面較光滑。本研究證實當切削速度在 21.5 m/sec以上時，切削表面的粗糙度將可控制在 $R_a = 2\mu\text{m}$ 以下。
- 3.在輝度的量測上，光入射表面的粗糙度值愈低的亦即切削表面愈光滑的導光板，其輝度值將會有較佳的表現。光由較光滑的切削面會有較好的折射效果，所以有效入射進入導光板內的光會較粗糙度高的表面為好。
- 4.在本研究的實驗中， 90° 的鑽石刀在相同條件下，所加工的導光板較 60° 及 120° 所加工的導光板，相對之下輝度有較高表現。除其和增光菱鏡片菱溝角度有較好的搭配性外，其粗糙度也有較佳表現。
- 5.在對於壓克力材質的切削加工中，是會呈現龜裂型切屑的切削，而提高切削速度會減小龜裂距離，進而改善切削表面的粗糙度。
- 6.在針對14”背光模組端面微結構加工的探討中，較高切削速度會有較好的輝度表現，但考慮切削加工機的能量、切削振動以及刀具的磨耗等因素，切削速度在21.5 m/sec時所得的表面粗糙度及輝度表現，已有相當的穩定，足以作為光學設計的參考，而此切削速度也已實際應用量產的光學參考，所以本研究所得到的數據理論，非常具有參考價值。

6.2 建議

對於導光板入光面的切削的研究，本文已完成了切削刀具材質的選定及在各種不同切削速度下，並搭配不同刀角角度所得到各種包含粗糙度及輝度分佈的關係，並能已此實驗結果，增加光學設計的參考依據，進而加速光學改版的進度，讓整個產品的品質水準能有效提升。爾後期望藉由此精密加工模式的經驗，擴充到其它條件的研究，因此對於其它研究方向有以下建議：

1. 目前實驗的條件在以不同的刀角角度，調整刀具切削速度來分析整體光學趨勢，未來可以增加切削深度、微結構間距、刀具外形，建立一系列更完整的切削資料，來輔助光學設計研發。
2. 在加工方面由於本實驗中並未對切削中的切削抵抗及振動進行量測，且加工的材料也只有業界常用的壓克力一種，所以也可以探討導光板所用的其它材料，如PC、ZEONOR等不同材料在加工後會產生何種關係，建立光學元件導光板更完整的資訊。
3. 在光學量測時僅對輝度值分佈的探討，未對其它光學輝度影響因子加以量測，如發光角度、入射角度等，藉以了解微結構在何種角度下所得的光效能最佳化，進而改善切削角度來提高整體效能。
4. 本實驗切削加工機台為單刀座，也因此產生切削力不平衡及切削深度過深，足以影響切削品質，能夠設計出多刀座的切削加工機，將更俱生產性及更佳

參考文獻

- 【1】黃素真，科學發展 2002 年 1 月， 349 期。
- 【2】林伯樺，入光V-cut 設計對背光模組輝度影響之研究，中原大學機械工程研究所，九十五年六月。
- 【3】邵龍志，背光模組之導光板 V-Cut微結構光學設計與模擬，義守大學電機工程研究所，九十五年七月。
- 【4】張政德，背光模組導光板微結構設計對光學輝度分佈影響之研究，崑山科技大學機械工研究所，九十四年六月。
- 【5】Xingpeng Yang, Di Feng, Guofan Jin, Yingbai Yan, Shoushan Fan, Integrated light-guide plates that can control the illumination angle for liquid crystal display backlight system, Proc. of SPIE Vol. 6034,2006。
- 【6】張欽嘉，導光板V溝模具微細加工與精密檢測之研究，聖約翰科技大學自動化及機電整合研究所，九十五年六月。
- 【7】Akihiro Tagaya, Suguru Ishii, Kazuaki Yokoyama, Eizaburo Higuchi, Yasuhiro Koike, The Advanced Highly Scattering Optical Transmission Polymer Backlight for Liquid Crystal Displays, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 2241 – 2248 Part 1, No. 4A, April, 2002。
- 【8】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班，九十三年六月。
- 【9】劉以仁，壓克力材質切削表面品質之研究，國立成功大學機械工程研究所，九十一年七月。
- 【10】徐業奇，非球面壓克力透鏡精密加工特性之研究，國立中興大學機械工程研究所，九十四年六月。
- 【11】劉世彰，以單晶鑽石刀具鉋削製作非球面微透鏡陣列之研究，交通大學精密與自動化工程研究所，九十四年六月。

- 【12】 Ryuichi Iwamoto, Eiji Konodo, Norio Kawagoishi, Koichi Ichiki, Suguya Yoshidome, Study on Ultra-Precision Cutting for Soft Metals, 鹿兒島県工業技術センター, No. 19, 2005。
- 【13】 Ryuichi Iwamoto, Eiji Konodo, Noriyuki Okubo, Koichi Ichiki, Norio Kawagoishi, Study on Ultra-Precision Cutting for Hard and Brittle Materials, 鹿兒島県工業技術センター, No. 19, 2005。
- 【14】 傅甘己，刀具剛性與刀削精度關係之研究，私立中原大學機械工程學系研究所，九十三年元月。
- 【15】 曾文政，液晶顯示器背光板用導光板V-Cut加工之探討，義守大學材料科學與工程學系，九十三年七月。
- 【16】 謝祥暉，高效能導光板之微結構排列設計與分析，大葉大學機械工程研究所，九十五年六月。
- 【17】 陳進都，多段射出在導光板的應用與分析，國立中興大學機械工程研究所，九十四年六月。
- 【18】 林來誠，液晶顯示器背光技術動向，OPTOLINK，Nov.1997。
- 【19】 王先達編著，陳炤彰審閱，精密機械加工原理，高立圖書有限公司。
- 【20】 黃仲龍，超精密加工技術國內外發展現況，奈米加工之微機械加工技術簡介（二）工研院 IEK-ITIS 計畫。
- 【21】 田中義信、津和秀夫、井川直哉 編著，賴耿陽譯，精密加工新技術全集，第二版，復漢出版社。
- 【22】 鴨川昭夫著，賴耿陽譯，塑膠品切削加工，復漢出版社。
- 【23】 洪良德，切削刀具學，全華科技圖書。
- 【24】 傅士桓，金屬正交切削幾何和形成之有限元素模擬，大同大學機械研究所，九十六年七月。
- 【25】 Geoffrey Boothroyd, Winston Knight, Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 2nd Edition, McGraw Hill, 1989。

- 【26】 王文瑞，鏡面微結構超精密加工設備技術，機械工業雜誌，第15頁，2005年6月。
- 【27】 鄒緯廷，單點鑽石切削不鏽鋼之材料移除機制與表面性狀研究，淡江大學機械工程研究所，九十三年二月。
- 【28】 中惠科技，<http://www.totalintegra.com>
- 【29】 Keyence基恩斯，<http://www.keyence.com.tw>

