

## 第四章 光學玻璃毛胚前處理與球面透鏡模仁製作

玻璃球面透鏡熱壓之前置作業可分為二個主要部分，一為胚料的處理，另一為模仁的製作；光學玻璃毛胚的前處理作業包括選料、圓整、倒角、磨砂、拋光、清潔；模仁的製作包含了模仁的設計、製造、磨砂、拋光、鍍膜等，在本章將有完整的敘述。

### 4.1 光學玻璃毛胚前處理

本階段實驗所欲使用的玻璃胚料為 HOYA 公司所提供的 FCD1 光學玻璃毛胚，外形尺寸為 10mm×10mm×4mm，其重要性質同第三章表 3-2 所示，玻璃毛胚前處理作業是欲將方形毛胚加工至外徑 8mm、厚度 3mm 的平面透鏡，針對光學玻璃前處理作業本節將有完整的敘述。

#### 4.1.1 選料

當選定使用 FCD1 光學玻璃毛胚之後，尚需從此一批毛胚中篩選出無缺陷的胚料，玻璃內部具有缺陷時不僅會影響光學性質，亦會在圓整、倒角熱壓等過程中造成裂痕，所以選料過程必須將有缺陷的胚料剔除，常見的玻璃毛胚缺陷有：

1. 結石：玻璃內部結石係因為原料之未融物或原料中混入雜物所形成。
2. 節疤：係因為玻璃化的速度不同，使玻璃內部組成不同所造成。

3. 起筋：係因為熔融玻璃中之原料，未充分均勻混合所造成的細紋脈。
4. 氣泡：係因為熔融過程不慎引入空氣或回火不當或化學作用等因素造成的氣孔。

#### 4.1.2 圓整

圓整之目的是欲將方形玻璃毛胚修整成外徑 $\Phi 8$ 的圓形胚料，圓整所使用的設備如圖 4-1 所示，圓整動作近似於圓柱磨床之磨削圓棒加工，；圓整作業係以松香為黏著劑，其流程敘述如下：

1. 先將玻璃加熱，待玻璃表面的溫度達到足以融化松香，再將松香均勻的塗抹在方形玻璃毛胚之間。
2. 將塗有松香的方形玻璃毛胚放置在 V 型溝槽上，使方形玻璃毛胚可以有兩面貼於 V 型溝槽，再將塗有松香的玻璃方胚貼合，形成一個平整的玻璃方棒，如圖 4-2 所示。
3. 將玻璃方棒黏貼完成後，再將金屬柄黏貼於玻璃方棒兩端，以利挾持於圓整機。
4. 將玻璃方棒挾持於圓整機兩頂心之間，並儘量使兩頂心之中心通過玻璃方棒，然後啟動圓整砂輪進行圓整，如圖 4-3 所示。
5. 完成圓整加工之後將玻璃棒加熱，當溫度達到足以使松香軟化時將玻璃分離，並使用酒精清洗殘留於玻璃表面的松香，即完成圓整作業。

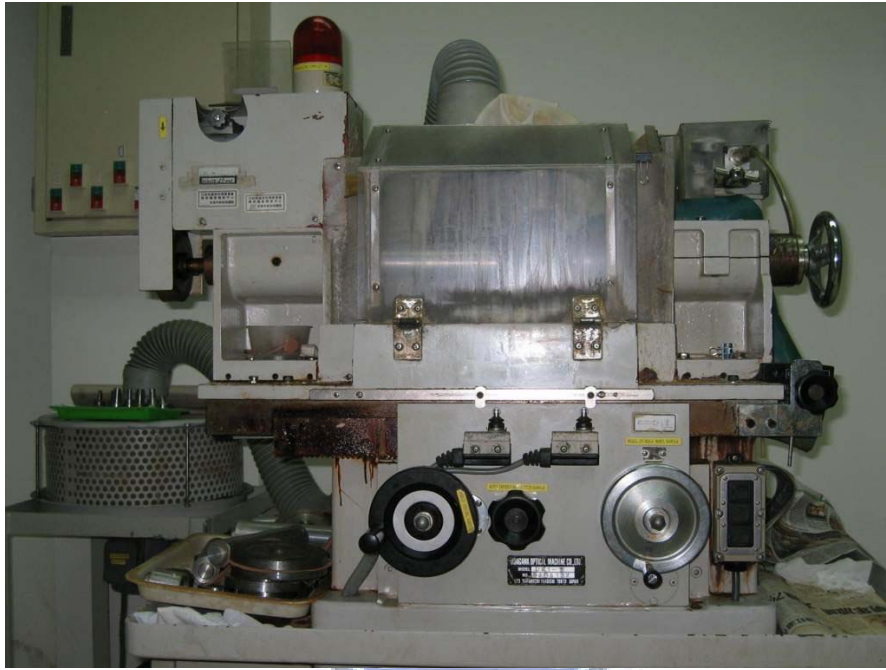


圖 4-1 圓整設備圖



圖 4-2 玻璃毛胚放置在 V 型溝槽上黏貼圖

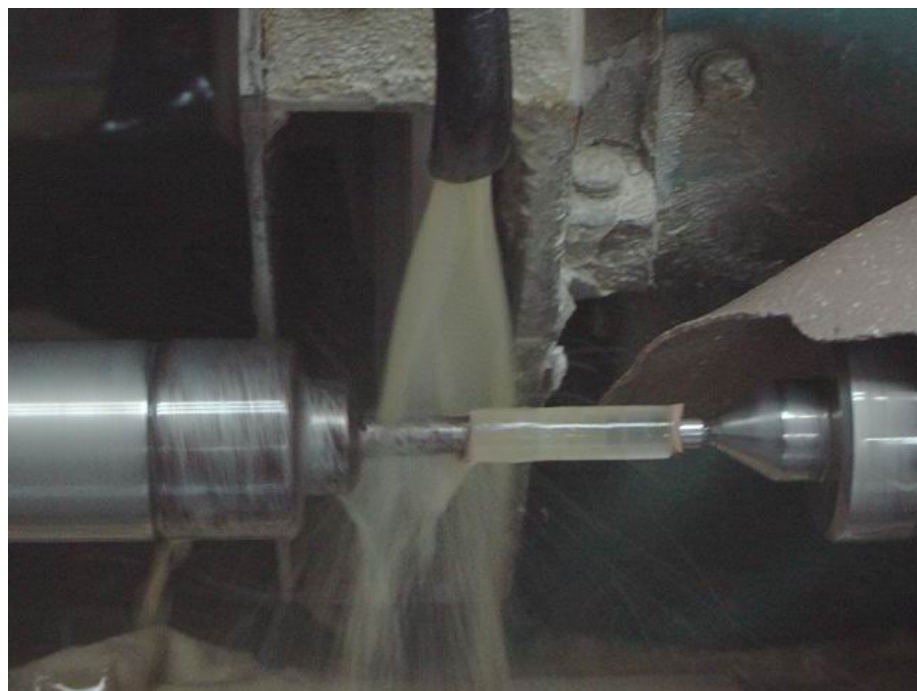


圖 4-3 圓整作業圖

根據本實驗所進行的圓整作業中，可歸納出下列幾點注意事項：

1. 方形玻璃毛胚的升溫與降溫速率不宜過快，以防因溫度差造成的熱衝擊，使玻璃毛胚面產生裂痕。
2. 方形玻璃毛胚在升溫黏附松香與升溫撥離松香過程中，應避免使用在常溫下之金屬鑷夾進行挾持，以避免玻璃毛胚破損。
3. 貼付成串的玻璃片數應審慎評估，一般以玻璃胚的外徑、厚度、貼付面之表面狀況等三個要素為主要考量，避免貼付片數過多導致圓整過

程玻璃脫落。

4. 將玻璃柱棒挾持於圓整機的過程中，必須儘量使玻璃柱棒的中心通過兩頂心，以避免外形尺寸已經達到目標尺寸，而玻璃毛胚上有未加工的部位；在玻璃柱棒挾持操作上亦須留意挾持力，過大的挾持力會使玻璃碎裂，過小的挾持力會導致玻璃脫落、工安危害、胚料不圓等。
5. 在圓整機的操作必須留意砂輪的進刀量，尤其是在第一刀接觸時應特別留意，過大的進刀量會使玻璃崩裂，如圖 4-4 所示，過小的進刀量則徒增時間成本。



圖 4-4 進刀量過大使玻璃破裂圖



圖 4-5 圓整前（上圖）與圓整後（下圖）外觀圖

#### 4.1.3 倒角

完成圓整作業後需再進行玻璃胚料的篩選，剔除在圓整作業所損傷之玻璃毛胚，然後再進行倒角作業，倒角之主要目的概述如下：

1. 增強邊角對外力的抵抗。
2. 避免在磨砂時，由於邊角崩裂的碎片刮傷鏡片表面。
3. 在精密組裝時，銳角磨去可增加尺寸精度。

在要求高精度的倒角角度時，目前較常見的係以 CNC 成形機進行導角作業；然而在倒角角度不甚重要的情況下，一般是使用研磨球面透鏡之磨碗進行倒角作業，磨碗選用的經驗公式為：

$$R = \Phi \times 0.7 \quad (4-1)$$

R：磨碗的曲率半徑

$\Phi$ ：鏡片直徑

經由倒角經驗公式計算出，本實驗應使用  $R=5.6\text{mm}$  的磨碗進行倒角，其胚料之倒角恰為  $45^\circ$  度，倒角作業係以 #500 砂進行倒角，所使用的設備為國科會精密儀器發展中心的研磨設備，其型號規格如表 4-1 所示，外觀如圖 4-6 所示。倒角過程需留意倒角的深度，若倒角深度過淺，鏡片經過加工後會變薄，倒角亦會消失造成鏡片的損壞，圖 4-7 為玻璃毛胚雖經過倒角，但所倒角深度過淺，在磨砂作業時所造成的邊角崩裂。

表 4-1 研磨設備型號規格表

出品公司	機器型號	加工範圍 (mm)
UDAGAWA IRON Works LTD.	7802618	$\leq \text{Ø} 150$



圖 4-6 研磨設備外觀圖



圖 4-7 玻璃毛胚倒角過淺導致邊角崩裂

#### 4.1.4 磨砂

藉由磨砂作業可以把玻璃毛胚表面的凹凸面除去，以得到平整、光滑的表面，在磨砂過程中，影響玻璃毛胚表面品質的因素甚多，其主要因素之關係如圖4-8所示，詳細敘述如下[12]：

1. 設備運作精度：當設備運作精度過低時，則無法準確的加工出所需要的鏡片。
2. 設備的運動參數：設備的運動參數依照設備的不同而相異，以本實驗所使用的擺動式研磨機而言，其可分別調整的部分包含擺臂長 ( $\Delta L$ )、擺幅( $r$ )、擺動偏心率( $\Delta\Phi$ )、與下底盤旋轉軸之轉速( $f_p$ )等，如圖4-9所示。
3. 磨盤表面品質：磨砂作業是將玻璃毛胚與磨盤進行對磨，所以磨盤的表面品質會直接影響到玻璃毛胚的表面品質，通常在玻璃磨砂作業之



前會先將磨盤進行對磨修整。

4. 磨盤硬度：磨盤的硬度高，則在長時間磨砂後表面較不易不變形，如此玻璃毛胚表面形狀較不會因磨盤表面形狀改變而受到影響，但相對的磨盤表面形狀的修整也較為不易。
5. 毛胚初始表面品質：毛胚初始的表面品質過差，則會影響玻璃毛胚的貼付，若貼附不牢會造成鏡片鬆動、脫落，影響玻璃的表面品質。
6. 玻璃毛胚物理性質：玻璃毛胚的硬度會影響磨砂的速率與磨屑顆粒大小，較軟的玻璃模削速率較高，但也較容易造成玻璃表面的刮傷。
7. 磨砂濃度與添砂頻率：在磨砂液中，當砂的濃度高於1%時，對研磨的速率幾乎沒有提升，但是砂的濃度過高易造成玻璃毛胚表面的刮傷，添砂過於頻繁則容易造成磨盤的抖動。
8. 磨砂性質：砂的硬度與幾何外形，會影響玻璃毛胚表面品質。
9. 玻璃毛胚壓力分佈：鏡面壓力分佈主要是受到機械運動、貼附松香、磨盤的影響，松香的塗敷是否均勻、磨砂時松香是否變形，都會影響到工作物表面壓力的分佈，而機械運動一方面為改變磨盤與玻璃毛胚的接觸面積，另一方面因擺動所產生的加速度而使兩接觸面上各點所受壓力不同。
10. 貼付松香的受熱效應：松香隨著溫度的上升而軟化，在磨砂過程中亦會因為摩擦而產生熱，當摩擦溫度過高時會使松香軟化時，會造成玻

璃毛胚壓力分佈不均，而影響玻璃毛胚的外形與表面品質。

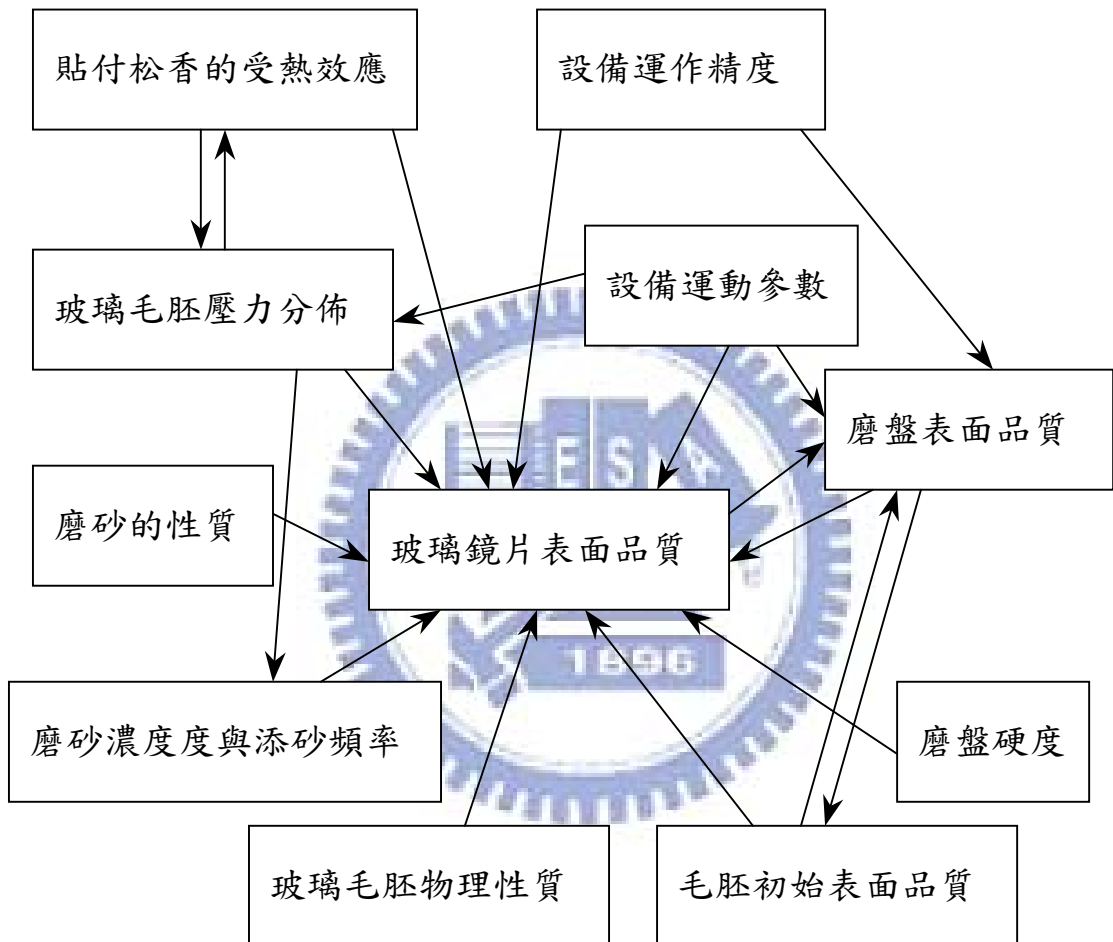


圖4-8 影響玻璃毛胚表面品質的主要因素關係圖

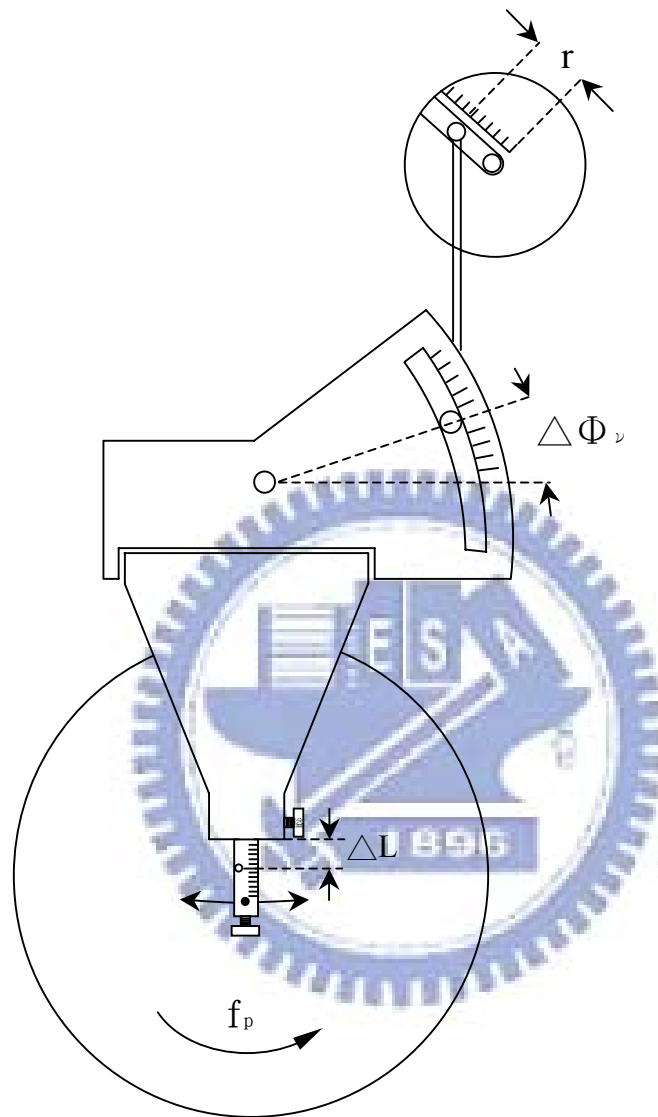


圖 4-9 研磨設備運動機構示意圖

本研究所使用磨砂從#500至#2000對玻璃毛胚進行磨砂作業，並將厚度控制在 $3\pm 0.05$  mm，所使用的磨料為日本FUJIMI公司所產型號FO之氧化鋁磨料，其粒度如表4-2所示；磨砂設備的運動方式係以上磨盤左右擺動、下

磨盤旋轉運動，使玻璃毛胚可以均勻被磨平。若玻璃毛胚的平面輪廓精度尚未達到目標時，可藉由調整機器來進行修正，磨砂步驟敘述如下：

1. 選定適當尺寸的平面磨盤，並將玻璃圓胚以同心圓的形式排列於磨盤上，將玻璃圓胚移除後再以鉛筆繪出玻璃圓胚欲排列之位置；在排列玻璃圓於磨盤上不可太過於密集，以避免研磨過程砂或粉塵填充在縫隙，造成玻璃的刮傷。
2. 將磨盤與玻璃圓胚加熱達到足以融化松香的溫度，再將松香均勻塗於磨盤表面。
3. 將玻璃圓胚依照磨盤上鉛筆所繪製的位置進行貼付。
4. 待磨盤溫度降至室溫後即完成鏡片貼付，如圖 4-10 所示。
5. 使用與貼付磨盤大小相近的模盤進行對磨，如圖 4-11 所示。
6. 當玻璃表面均勻被磨削且無刮痕，則可以更換號數較高的細砂。

在厚度的控制方面，影響玻璃毛胚的厚度包含磨砂時間、砂的粒度、砂的濃度與添砂頻率，厚度的檢測是使用厚度計(如圖 4-12 所示)來進行檢測與控制。

在磨砂階段，玻璃之間的平整度則以球徑計搭配標準塊來進行檢測，將球徑計置放在標準塊上，再將球徑計規零，然後置放於玻璃上方，即可量測出玻璃之間之是否平坦。

磨砂作業最常見的損傷有鏡片表面刮傷、邊角崩裂；造成鏡片刮傷的主因是磨盤與鏡片清潔不確實，當更換號數較高的細砂時，磨盤或鏡片上仍殘留雜質或前一號的粗砂，導致鏡片的刮傷，或是由於鏡片貼付過於密集，使磨卸或雜質嵌於玻璃間之縫細，使之無法確實清潔，而導致磨砂時鏡片的刮傷。邊角崩裂主要是邊角倒角過小所導致的，崩裂的玻璃碎片亦會刮傷同一磨盤上的其他玻璃。

欲控制鏡片的平整，除了在磨砂作業前先將磨盤修整平坦外，磨盤的擺動方式與磨盤的大小，均會造成玻璃鏡片的凸面與凹面，形成凹面的原因可歸納為擺動幅度過小、磨盤太小，如圖 4-13 所示；形成凸面的原因歸納為磨盤擺動幅度過大、磨盤拉出擺動、磨盤偏心擺動、磨盤太大，如圖 4-14 所示。



表 4-2 FO 磨料號數與粒度表

號數	平均粒徑 ( $\mu\text{m}$ )	號數	平均粒徑 ( $\mu\text{m}$ )
#240	40	#800	11.3
#280	34	#1000	9.4
#320	28	#1200	7.1
#400	23	#1500	5.5
#500	19	#2000	4.5
#600	16	#3000	3.6
#700	13.5	#4000	2.7



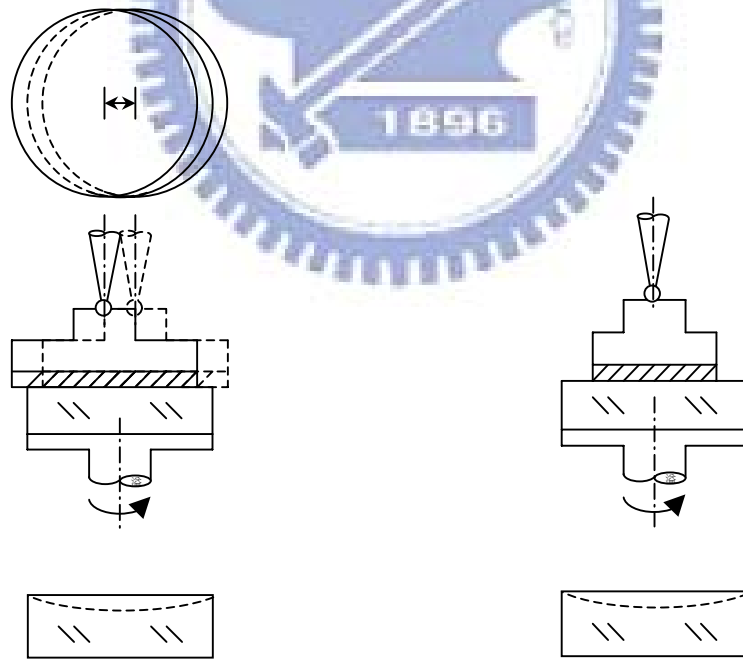
圖 4-10 玻璃完成貼付於磨盤上外觀圖



圖 4-11 玻璃磨砂過程圖



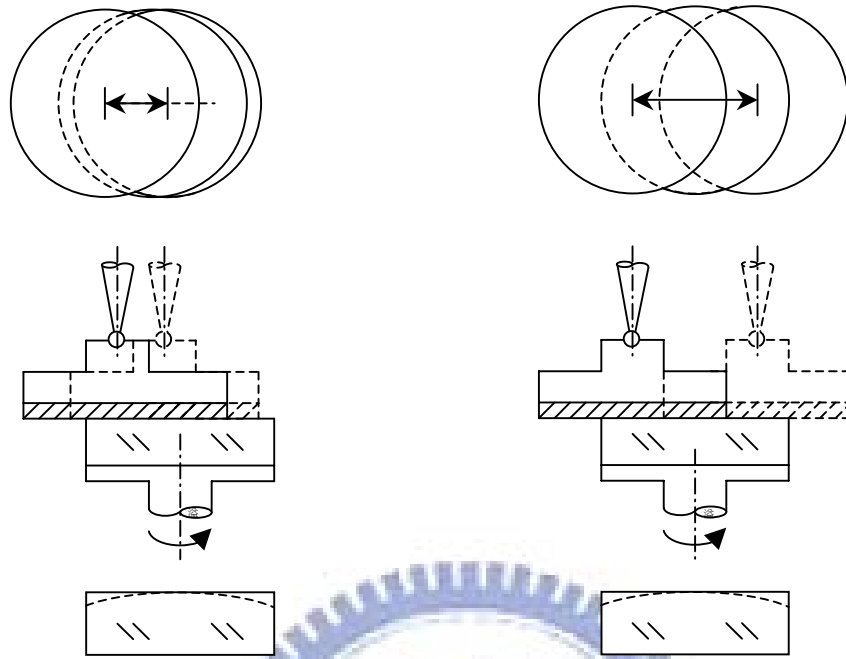
圖 4-12 厚度計外觀圖



擺動幅度過小

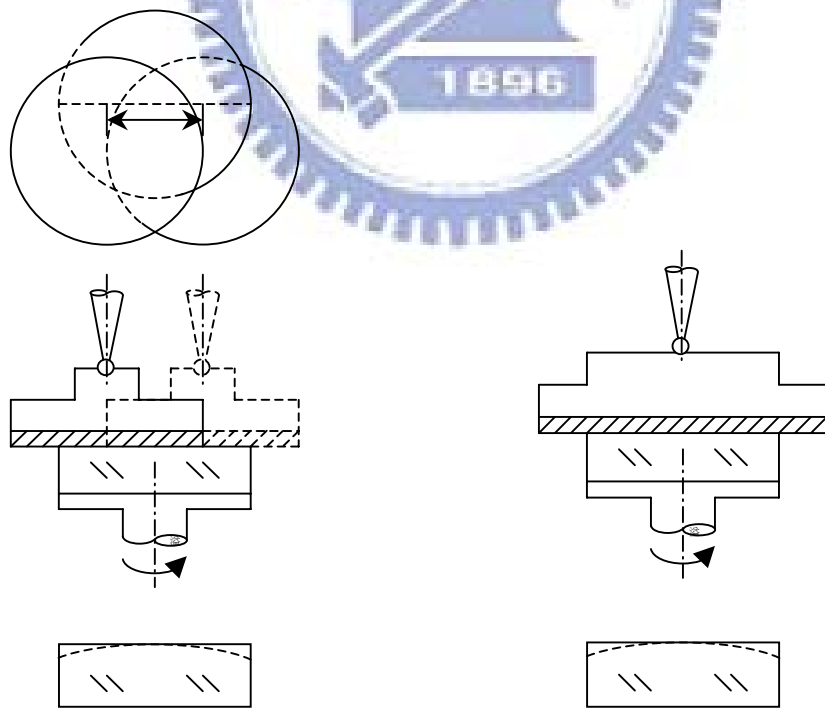
磨盤太小

圖 4-13 磨砂過程造成玻璃鏡片的凹面之示意圖



磨盤偏心擺動

磨盤擺動幅度過大



磨盤拉出擺動

磨盤太大

圖 4-14 磨砂過程造成玻璃鏡片的凸面之示意圖



#### 4.1.5 拋光

經由磨砂的粗、細磨作業，可將玻璃鏡片幾何外觀修整完成，接續的拋光作業主要目的是將玻璃表面品質提升，對於幾何外形改變並不大；拋光所使用的設備與磨砂相同，但拋光所需環境要求較研磨作業嚴苛，包含鏡片的清潔與模盤的選用都須較為謹慎。

拋光時對磨的介面與使用的工作液體與磨砂不同，磨盤必須先使用球徑計進行檢測，中心與邊緣的誤差在 $1\mu\text{m}$ 以內，然後在該磨盤表面貼付一層拋光墊(Polishing Pad)，較常見的拋光墊有羊毛氈、絨布及拋光瀝青，其中以拋光瀝青的拋光效果最佳，所以在要求高精度的玻璃鏡片拋光作業中，拋光墊必選用拋光瀝青，在此將僅對拋光用瀝青進行較詳細的分類，表4-3為常見的光學瀝青分類表。



表 4-3 常見的光學瀝青分類表

分類	製法	級別	用途
直餾瀝青系	原油經常壓蒸餾分出汽油、煤油、柴油等輕質餾分，再經減壓蒸餾（殘壓 10~100mmHg）分出減壓餾分油	K 級	用於光學玻璃的拋光 具有代表性的瀝青，精 度高而易於使用的沉 用品
木系瀝青	蒸餾木焦油所剩的殘渣	KR 級	雖然與K級約略有相同 的使用性質，但特別被 使用於平面的拋光
氧化瀝青	是在一定範圍的高溫下向減壓渣油或脫油瀝青吹入空氣，使其組成和性能發生變化	KB 級	高負荷，作為用於短時 間的拋光，具有此種特 性的沉用品
松脂系	蒸餾松脂所剩的殘渣	KS 級	高精度用於特殊品的 拋光

瀝青拋光模的製作步驟如下：

1. 選用適當大小的磨盤並將磨盤清潔，在磨盤邊緣以紙帶固定磨盤，使磨盤呈現如筒狀。
2. 將拋光瀝青升溫達熔融狀態，並將瀝青注入筒狀磨盤。

3. 以同心模壓制瀝青，使拋光瀝青墊表面呈現同心圓溝槽。
4. 待瀝青溫度降至室溫使之固化，再將紙帶除去即完成拋光用瀝青墊，如圖4-15所示。

拋光作業中，除了拋光墊的選用之外，拋光粉的選用亦是其重要一環，常見的拋光粉如表4-4所示，拋光粉的選用主要是考慮工件與的拋光粉硬度，工件硬度高，所選用的拋光粉粒硬度應隨之提高；本實驗在拋光作業的條件如表4-5所示。



圖4-15 拋光瀝青外觀圖

表4-4 常見的拋光粉種類表[14]

名稱	化學式	莫氏硬度	顏色	結晶系	比重	熔點(°C)
三氧化二鐵	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5~6.5	赤褐	六方等軸	5.2	1565
四氧化三鐵	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	5.5~6.5	黑	等軸	5.2	1538
氧化鈾	CeO <sub>2</sub>	6	淡黃	等軸	7.1	1950
氧化鋯	ZrO <sub>2</sub>	5.5~6.5	白	單斜	5.7	2700
氧化鈦	TiO <sub>2</sub>	6~6.5	白	正方	3.9~4.3	1825
氧化錫	SuO <sub>2</sub>	6~7	白、淡黃	正方	6.9	1127
氧化鋁 (α 晶)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	白	六方	3.8~4	2020
氧化鋁 (γ 晶)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	白	等軸	3.4~3.7	2020
鑽石	C	10	無	等軸	3.4~3.5	3600
氧化鉻	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6~7.5	綠	六方	5.2	1990
氧化矽	SiO <sub>2</sub>	6.5~7	無、白	六方	2.7	1610
氧化鈷	ThO <sub>2</sub>	6.5	白	等軸	9.9	3050
氧化鎂	MgO	5.5	白	等軸	3.2~3.7	2800
氧化亞鉛	ZnO	4~4.5	白	六方	5.5	2000
沉澱碳酸鈣	CaCO <sub>3</sub>	3	無	六方	2.5~2.8	1339
沉澱碳酸鈣	MgCO <sub>3</sub>	4.5	白	三方	2.2~3.0	350
氧化鉛	PbO	2	黃	斜方	9.4	880
氧化錳	MnO <sub>2</sub> MnO	2.5	黑	斜方	4.8~5.0	535
碳粉	C	1.5	灰綠	等軸	2.2	1650

表4-5 本實驗拋光作業之條件表

拋光瀝青	K級
拋光粉	氧化鈾
拋光粉顆粒大小	1 μm
拋光粉與水調混比例	10g/100cc

在玻璃毛胚的前處理作業中，拋光作業是屬後段製程，若在拋光過程中不慎造成玻璃鏡片刮傷，若刮痕太深則必須再回到磨砂階段；在拋光作業中可歸納出下列幾點注意事項：

1. 拋光作業前，貼付玻璃的磨盤需仔細清潔，磨盤上不可殘留磨砂及粉塵，以避造成鏡片表面的刮傷。
2. 拋光粉內不可有雜質或粒度不均勻，以避免造成鏡片表面的刮傷。
3. 壓製拋光模的瀝青表面不可含有雜質，以避免造成鏡片表面的刮傷。
4. 拋光模表面和鏡片表面須吻合，以避免拋光模咬持拋光粉而刮傷鏡面。
5. 拋光前需確定鏡片表面是否可消去在研磨後仍留下刀痕較深所留下的刺孔。

拋光作業的線上檢測是將標準片置於拋光鏡片上，如圖 4-14 所示，對玻璃施以單色光源，當光線由上方垂直照射時，入射光與反射光會產生干涉現象，形成亮暗相間的干涉條紋，此亮暗相間的干涉條紋就稱為牛頓環，如圖 4-15 所示；藉由干涉條紋的形式可以判斷該鏡片的平坦度，以平面透鏡而言，當鏡片均勻平坦時，即可得到平行的干涉條紋。



圖 4-16 標準片置於玻璃鏡片上方外觀圖

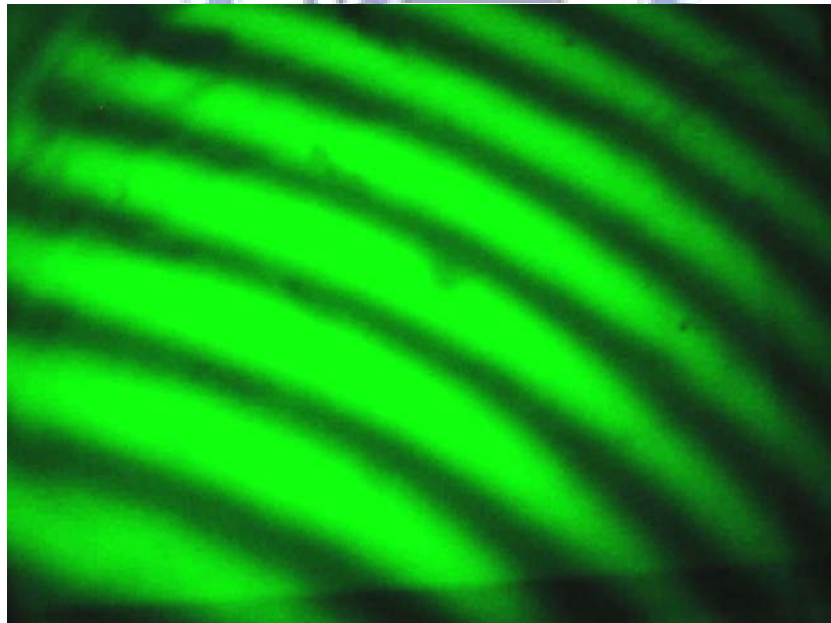


圖 4-17 干涉條紋圖

#### 4.1.6 清潔

胚料在經過圓整、倒角、磨砂等一連串的加工後，其切屑、雜質、粉塵等會殘留在玻璃的表面，若未加清潔直接將玻璃進行熱壓，則會使雜質附著於玻璃表面，不僅影響到玻璃透鏡的光學性質，更會造成往後熱壓製程的損壞，故清潔對透鏡的製程亦是相當重要的一個環節；常見的清潔方式有二，一為使用清水或有機溶劑沖洗鏡片，然後以氣壓噴除透鏡表面的水分與殘留雜質；另一為將有機溶劑與玻璃置放於超音波清洗機，利用超音波清洗機進行玻璃的清潔，然後再以氣壓噴除透鏡表面的水分與殘留雜質。本實驗使用後者的清潔方式，以去漬油為清潔液，清潔時間設定為 60 秒，清潔設備為超音波清洗機，如圖 4-18 所示。



圖 4-18 超音波清洗機外觀圖

## 4.2 球面透鏡模仁設計

一般鏡片的尺寸是藉由光學設計者所設計的光機構而決定的，而本實驗之目的在於研究透鏡的熱壓成形技術，並非在於光路的設計，故本實驗所設計的球面單凸透鏡之尺寸，是依據玻璃毛胚的限制條件下所設計，並非針對任何單一產品。

在設計模仁時，除需考慮透鏡所需的尺寸外，模仁的材料、模仁的加工難易度等均要考量，本實驗所使用的模仁外形尺寸如圖 4-19 所示；在模仁的材質方面，則延續平板熱壓所選用的 SK3 工具鋼，模仁表層除了鍍 TiAlN 硬膜外，亦選用無電解鎳(Electroless Nickel)當為模仁材料，目的在與 TiAlN 硬膜的脫模性與成品的表面品質進行對照。

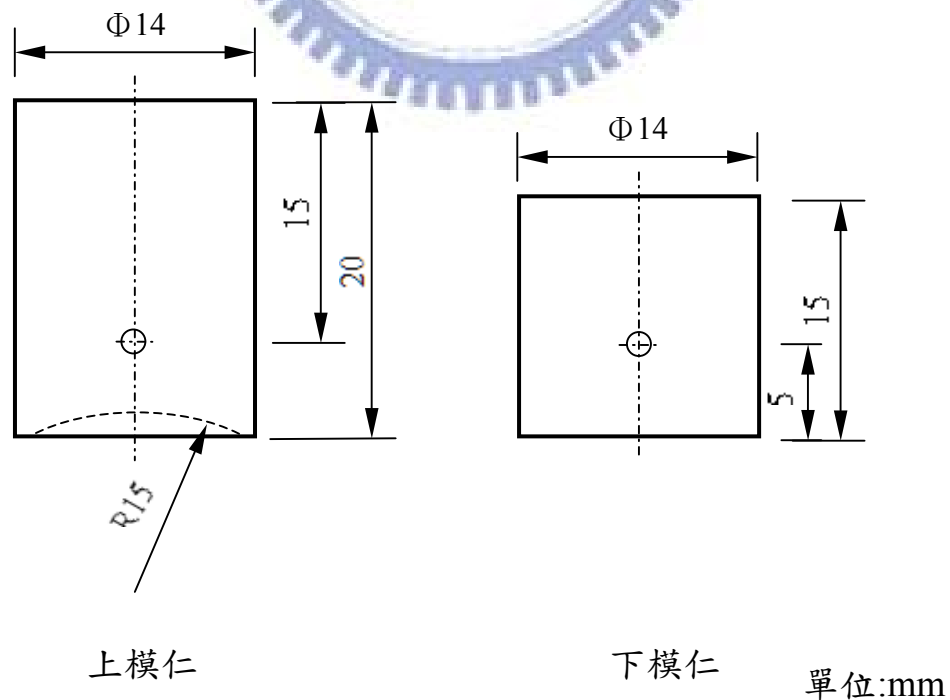


圖 4-19 模仁尺寸圖



無電解鎳最常被使用於精密元件表面之鍍層，而在超精密鏡面加工中，直接將無電解鎳層作為基材進行超精密鏡面車削加工，依據文獻[2]的記載，無電解鎳鍍膜層在分子材料的成形中被廣為運用，其滑動性與脫模特性均優於鍍鉻層，其鍍層與硬鉻比較如表 4-6 所示[12]。而本實驗將以塊狀無電解鎳進行切削加工，並與 SK3 工具鋼相同的加工方式進行無電解鎳模仁的製作。

表 4-6 無電解鎳與硬鉻之性質比較表

物性	無電解鎳	硬鉻
硬度	H <sub>v</sub> 500 ± 50	H <sub>v</sub> 950 - 1000
鍍層熔點	850-1000 °C	1800 °C
滑動性	佳	差
磨耗率	佳	佳
脫膜性	可以不使用脫膜劑	須使用脫膜劑
耐蝕性	對模具加工時所釋出之 H <sub>2</sub> S、HCl、HF、Cl <sub>2</sub> 等，具有卓越抗蝕性	對模具加工時所釋出之 H <sub>2</sub> S、HCl、HF、Cl <sub>2</sub> 等無抵抗力，鍍層厚度 50 μm 以上可改善
鍍層表面	非晶質結晶、無微孔、耐蝕性佳。	具龜裂性、微孔性，若無一定厚度，耐蝕性差。

### 4.3 球面透鏡模仁製作與量測

模仁所使用的量測設備為國科會精密儀器發展中心所有的輪廓儀，如圖 4-20 所示。透鏡模仁經由傳統機械加工之後，其表面粗糙度約為  $12.5\mu\text{m}$ ，無法直接使用，尚需經由研磨與拋光製程，一般研磨所使用的磨料為鑽石、氮化硼(CBN)、綠色碳化矽(GC)等，在研磨過程中研磨液扮演著相當重要的角色，研磨液需具有良好的潤滑性、良好的浸透性、良好的冷卻性、無引火性、無毒性、無污染等特性；研磨液的種類大致上可區分為下列四種：

1. 溶解型水溶性 (Solution Type)：具防銹功能。
2. 乳化型水溶性 (Emulsion Type)：潤滑性佳，價格低廉。
3. 半透明乳化水溶性 (Soluble Type)：浸透、冷卻、潤滑性均佳。
4. 油性 (Straight Type)：精密研磨性最佳。



圖 4-20 輪廓儀外觀圖

本實驗嘗試將玻璃球面透鏡的研磨技術運用在模仁的製作，模仁製作所使用的研磨與拋光設備如前述；實驗所使用之模仁為單凸透鏡模仁，上、下模仁製作過程將分述如下。

#### 4.3.1 上模仁製作

SK3 鋼材之上模仁先經由前述的車削作業，將上模仁車削至將近目標尺寸，檢測結果如圖 4-21 所示，檢測範圍為 8.172mm，圖形中央有明顯的車削後形成的凸點，在車削加工後的曲率半徑為 14.9957mm、中心線平均粗糙度(PRa)為 3.2036 $\mu$ m、均方根平均粗糙度(PRq)為 4.3320 $\mu$ m、波峰與波谷值(PRt)為 19.2987 $\mu$ m；從外觀上來看，表面尚有明顯的車削過的刀痕，欲消除此刀痕尚需進行研磨與拋光。

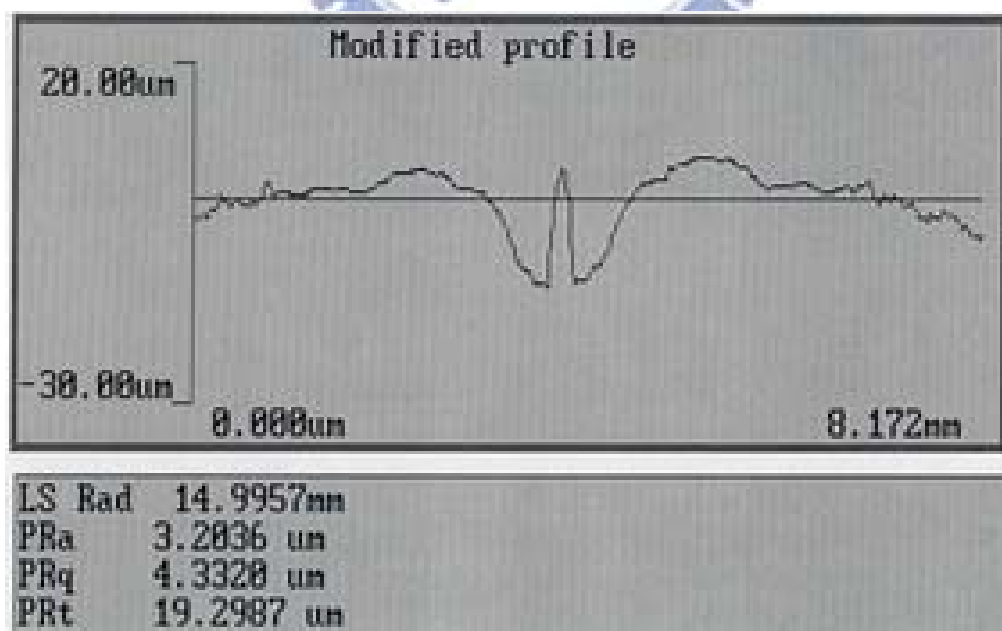


圖 4-21 SK3 上模仁研磨前輪廓圖

在進行上模仁的研磨作業前，必須再設計一公模，公模的功能是可以與模仁形成對磨，其外形尺寸如圖 4-22 所示；公模設計時需考慮外形尺寸、模仁的曲率半徑、設備高度調整限制等，若公模的外徑大，在設計時應留意公模頭與頸部的尺寸比例，避免公模頭端大頸部過細，當決定了公模的外形尺寸之後，尚需考慮所使用的材料，公模使用的材料硬度不可高於模仁，以免造成模仁的外形尺寸受到公模的牽引作用，無法達到預期的尺寸，一般公模最常使用的材料為鑄鐵。

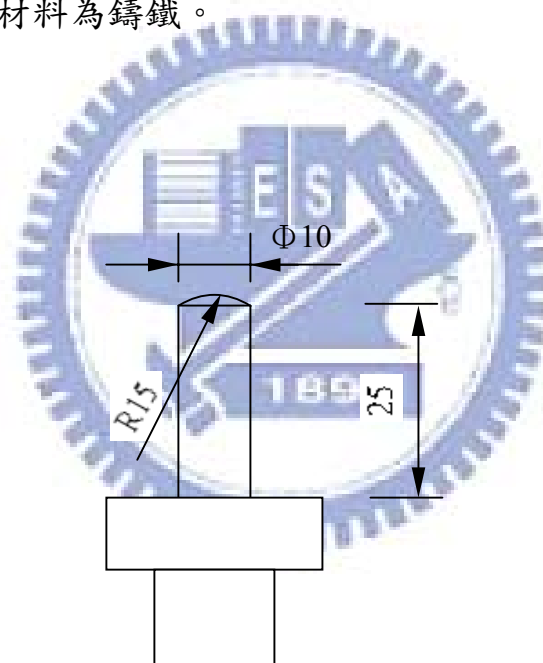


圖 4-22 公模尺寸圖

模仁的磨砂作業所用的磨料是綠色碳化矽(GC)，為 FUJIMI 其粒度如表 4-7 所示，上模仁的研磨作業如圖 4-23 所示，在研磨作業現場為控制模仁曲率半徑的準確度，最常使用球徑計進行模仁曲率半徑的檢測，再藉由設備調整其運動參數即可控制模仁的曲率半徑，若所檢測出的模仁曲率半徑

大於目標尺寸，則需將擺臂長、擺幅、擺動偏心率均需調小，進行輪廓的修整，反之則必須調大。

上模仁的研磨作業係先以#280 進行粗磨，使用#280 粗砂的主要目的是要清除機械加工後所留下的刀痕，當磨仁表面被#280 砂所均勻磨削之後，再分別以#500、#800、#1200 依序更換磨砂到#2000、#3000、#6000、#8000 完成精磨，模仁研磨時換砂的認定標準同玻璃磨砂作業。

上模仁在研磨過程中，同時也進行其表面品質的觀察，觀察不同號數的磨砂，對磨仁表面品質的影響，所使用的設備為立體顯微鏡如圖 4-24 所示，以 50 倍的放大倍率進行觀察，由圖 4-25 至圖 4-33 分別為機械加工後的模仁表面、經#280、#500、#800、#1200、#2000、#3000、#6000、#8000 等研磨後之模仁表面，由圖形觀察得知，使用#280 的磨砂可以有效的磨除模仁的刀痕。

從#280 至#2000 的研磨過程中可以得知，模仁表面品質有明顯提升，然而在#3000 與#6000 #8000 研磨後的模仁表面，其表面品質較不明顯，依照此一觀察結果，在無電解鍍的上模仁研磨作業中，將省略#3000、#6000 兩道次的磨砂製程。

表 4-7 GC 磨料號數與粒度表

號數	平均粒徑 ( $\mu\text{m}$ )	號數	平均粒徑 ( $\mu\text{m}$ )
#240	57.0	#1200	9.5
#280	48.0	#1500	8.0
#320	40.0	#2000	6.7
#360	35	#2500	5.5
#400	30	#3000	4.0
#500	25	#4000	3.0
#600	20	#6000	2.0
#700	17	#8000	1.2
#800	14	#9000	0.7
#1000	11.5	#10000	0.6

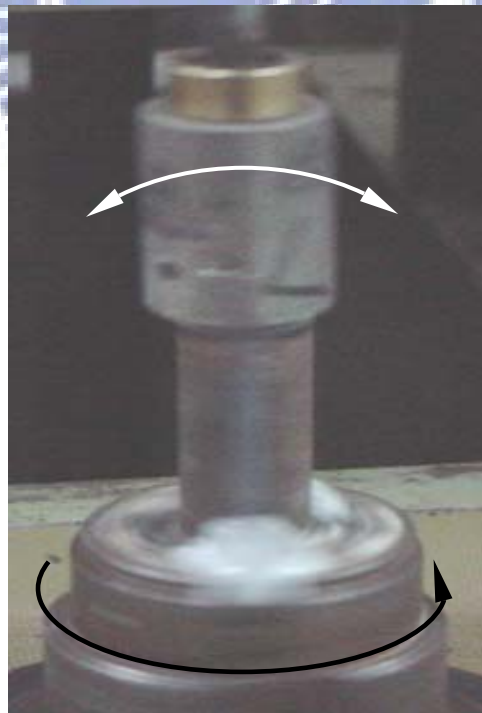


圖 4-23 上模仁磨砂作業圖



圖 4-24 立體顯微鏡外觀圖

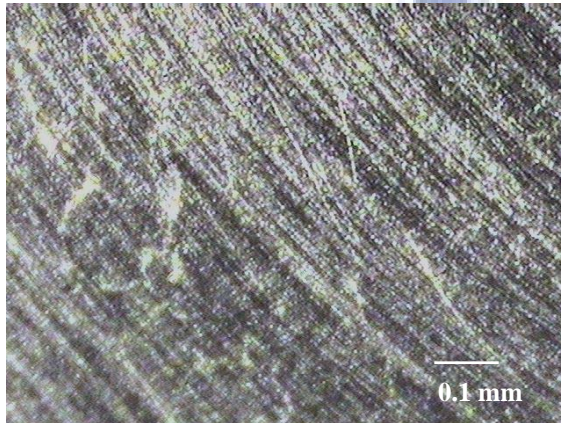


圖 4-25 機械加工後的模仁表面圖



圖 4-26 #280 研磨後的模仁表面圖

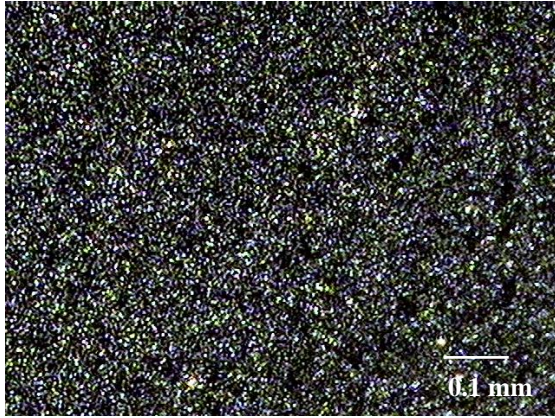


圖 4-27 #500 研磨後的模仁表面圖

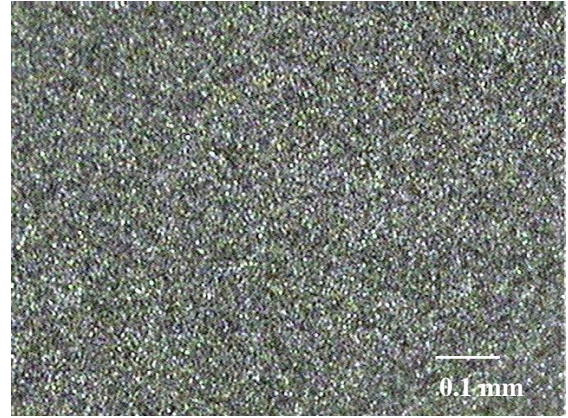


圖 4-28 #800 研磨後的模仁表面圖

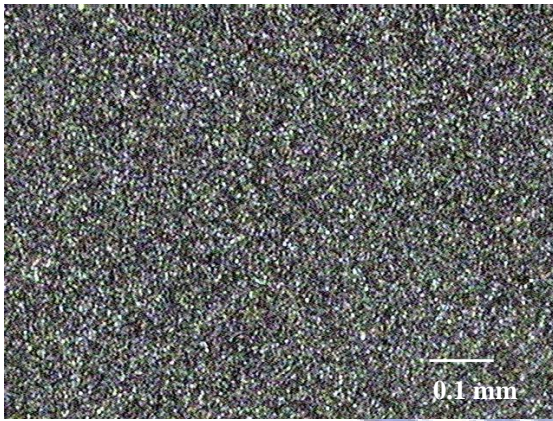


圖 4-29 #1200 研磨後的模仁表面圖

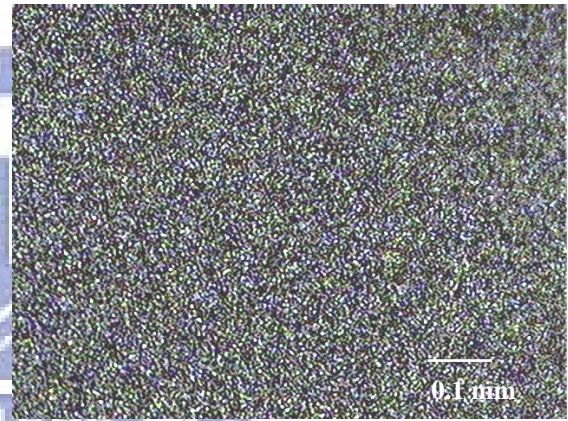


圖 4-30 #2000 研磨後的模仁表面圖

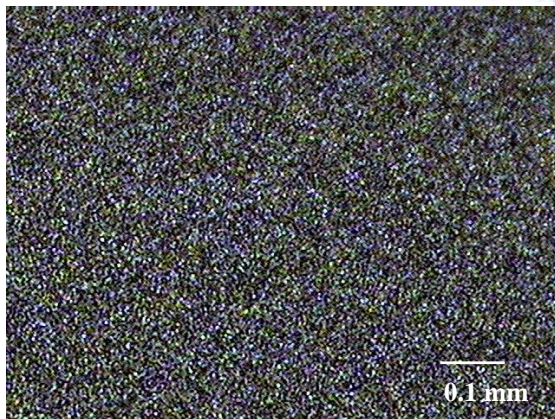


圖 4-31 #3000 研磨後的模仁表面圖

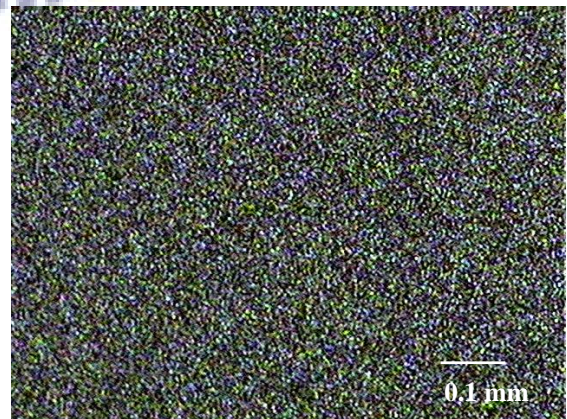


圖 4-32 #6000 研磨後的模仁表面圖



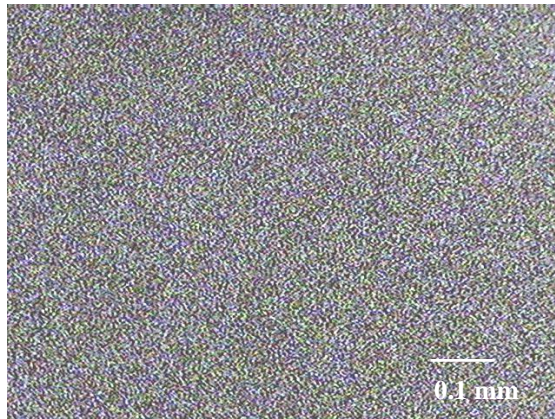


圖 4-33 #8000 研磨後的模仁表

完成研磨作業後即進入拋光作業，上模仁的拋光作業係將拋光墊貼付於公模上，再將拋光液添加於公模與上模之間進行拋光作業；由於實驗中所用之上模仁表面積狹小，以致公模的拋光墊無法平整貼付，故選用貼付拋光瀝青來進行拋光作業。拋光瀝青的貼付流程如下：

1. 先將公模加熱，使之溫度達到足以溶化拋光瀝青。
2. 將拋光瀝青貼付於公模上，並使用加熱後的刀片進行邊緣修整。
3. 再將拋光瀝青加熱並以上模仁進行壓模，使拋光瀝青的外形可以與上模仁吻合。
4. 完成壓模後再重複邊緣修整，即完成拋光瀝青貼付，如圖 4-34 所示。



圖 4-34 公模完成瀝青貼付圖

模仁拋光條件如表 4-8 所示，經由拋光之後使用立體顯微鏡觀察，如圖 4-35 所示，模仁表面更為光滑，且外觀上已成鏡面，再以表面輪廓儀進行上模仁的表面輪廓量測，量測結果得知模仁表面粗糙度已經明顯降低，其量測結果如圖 4-35 所示，研磨與拋光前、後比較表如表 4-9 所示。

表 4-8 模仁拋光條件表

拋光瀝青	K 級
拋光粉	氧化鋁粉
拋光粉顆粒大小	1 $\mu$ m
拋光粉與水調混比例	10g/100cc

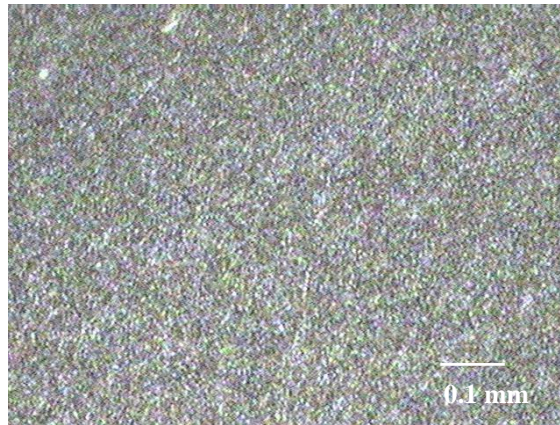


圖 4-35 拋光後的模仁表面圖

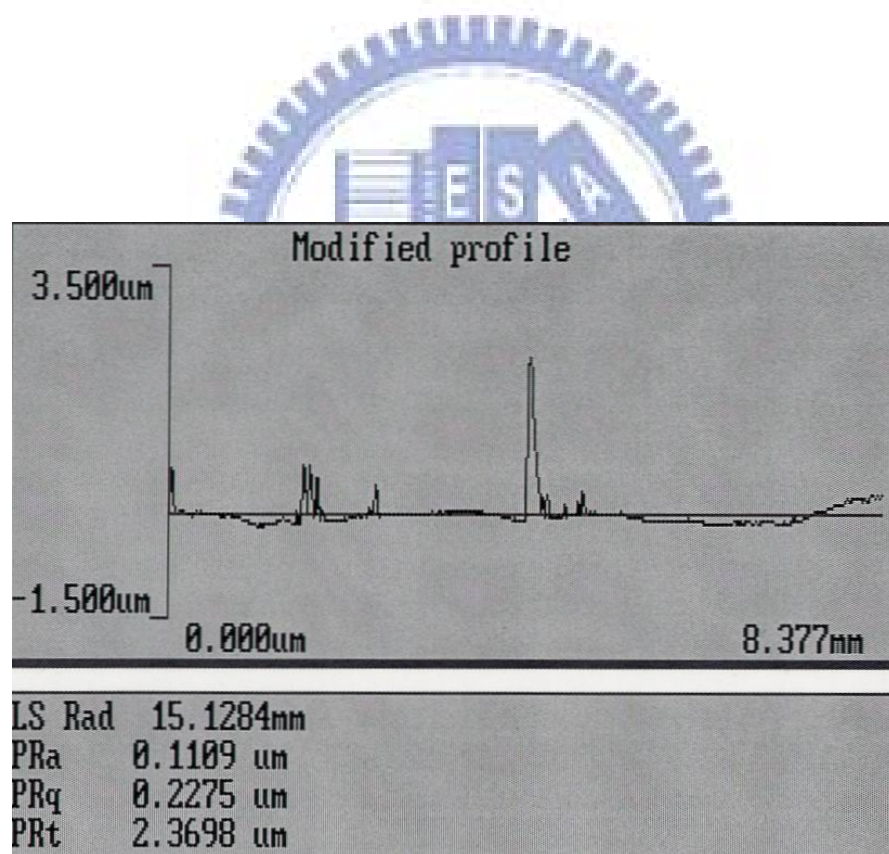


圖 4-36 SK3 上模仁拋光後輪廓圖

表 4-9 SK3 上模仁研磨與拋光前、後比較表

量測值 \ 狀態	研磨、拋光前	研磨、拋光後
量測範圍 (mm)	8.172	8.377
曲率半徑 (mm)	14.9957	15.1284
PRa (μm)	3.2036	0.1109
PRq (μm)	4.3320	0.2275
PRt (μm)	19.2987	2.3698

上模仁經由研磨、拋光後，其表面粗操度 PRq 值從 4.3320 降至 0.2275(μm)，然而依照平板熱壓的結果得知，由 SK3 所製成的模仁仍需鍍膜，以防止模仁因氧化脫碳而污染鏡片，模仁的鍍膜層仍選用 TiAlN 硬膜層，鍍膜後量測結果如圖 4-37 所示，由輪廓圖可以明顯看出，上模仁在經由鍍膜後，表面粗操度沿著參考基準值(15.1764 mm)上下劇烈震盪，其表面粗操度 PRq 值從 0.2275 增加至 0.4774(μm)，且曲率半徑亦從 15.1284 增加至 15.1764(mm)，為了改善鍍膜後表面粗操度值的劇增，再將已鍍膜的模仁進行鍍膜後拋，其檢測結果如圖 4-38 所示；由於鍍膜層硬度達 Hv3000 以上，再經由後拋作業之後，其曲率半徑與表面粗操度尚無明顯改變。

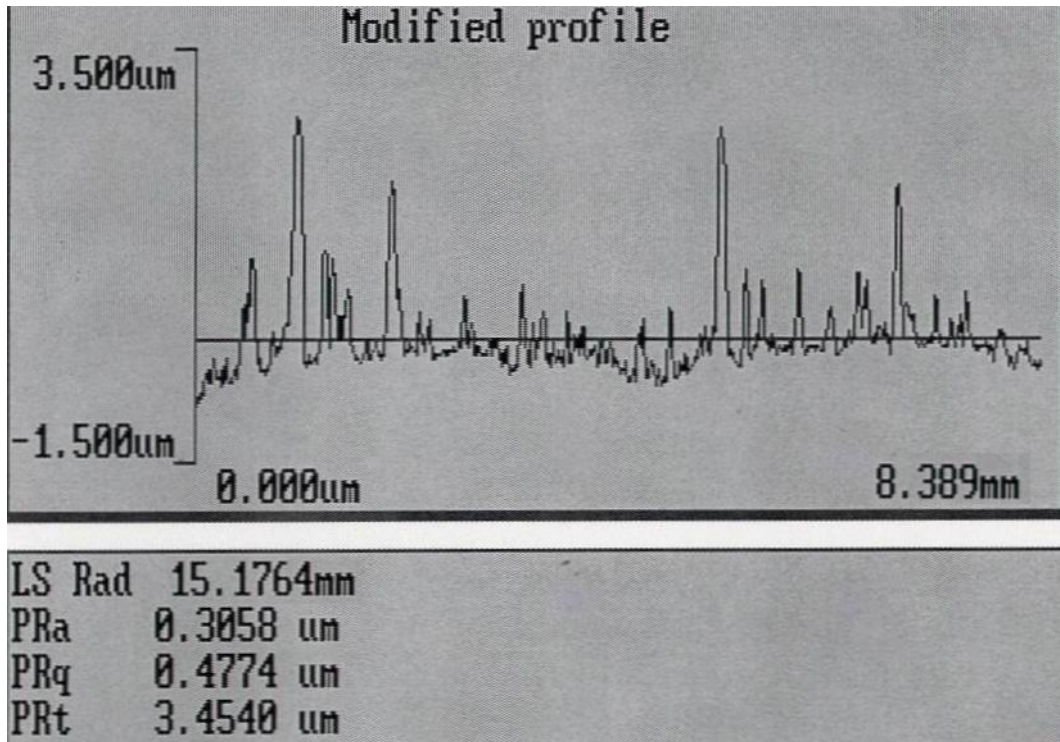


圖 4-37 SK3 上模仁鍍 TiAlN 後表面輪廓圖

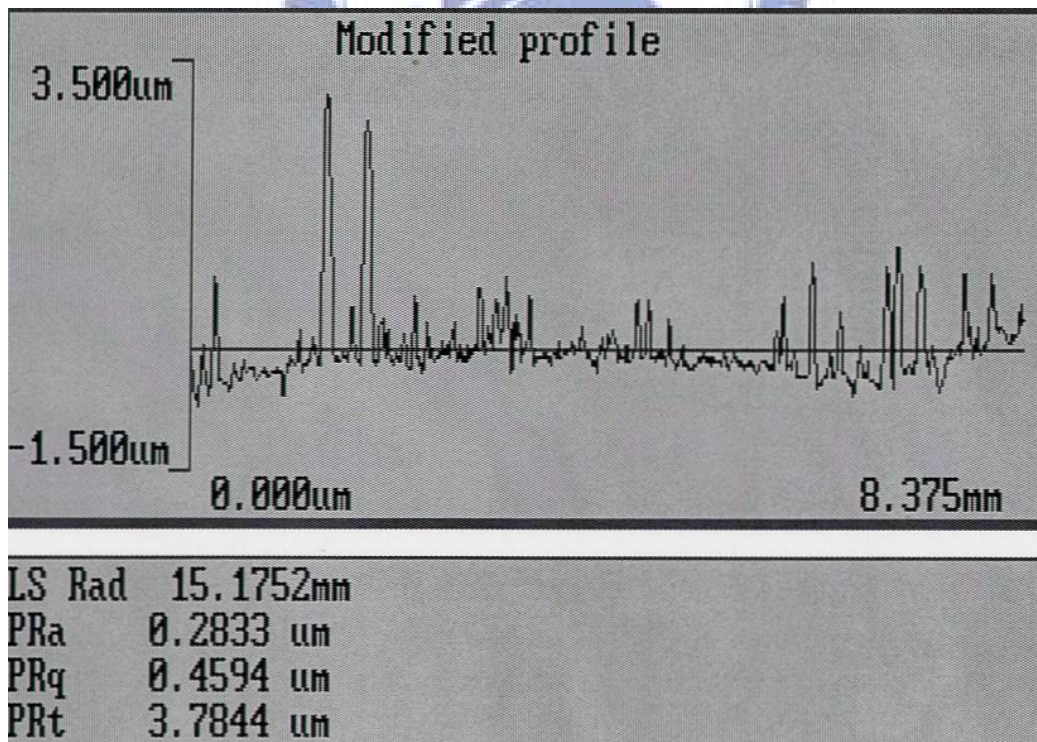


圖 4-38 SK3 上模仁鍍膜後拋光表面輪廓圖

模仁的材料除了使用 SK3 拋光後鍍膜之外，還選用無電解鎳，無電解鎳模仁的加工方式同 SK3 工具鋼，經由傳統機械加工後，無電解鎳模仁的表面輪廓並沒有比 SK3 工具鋼模仁佳，如圖 4-39 所示；但經由磨砂、拋光後，經由輪廓儀量測後得知，無電解鎳模仁的表面輪廓明顯的優於 SK3 工具鋼模仁，其量測結果如圖 4-40 所示；由於無電解鎳是屬非晶質，模仁在經由磨砂、拋光後，表面品質較佳；SK3 工具鋼模仁與無電解鎳模仁比較如表 4-10 所示。

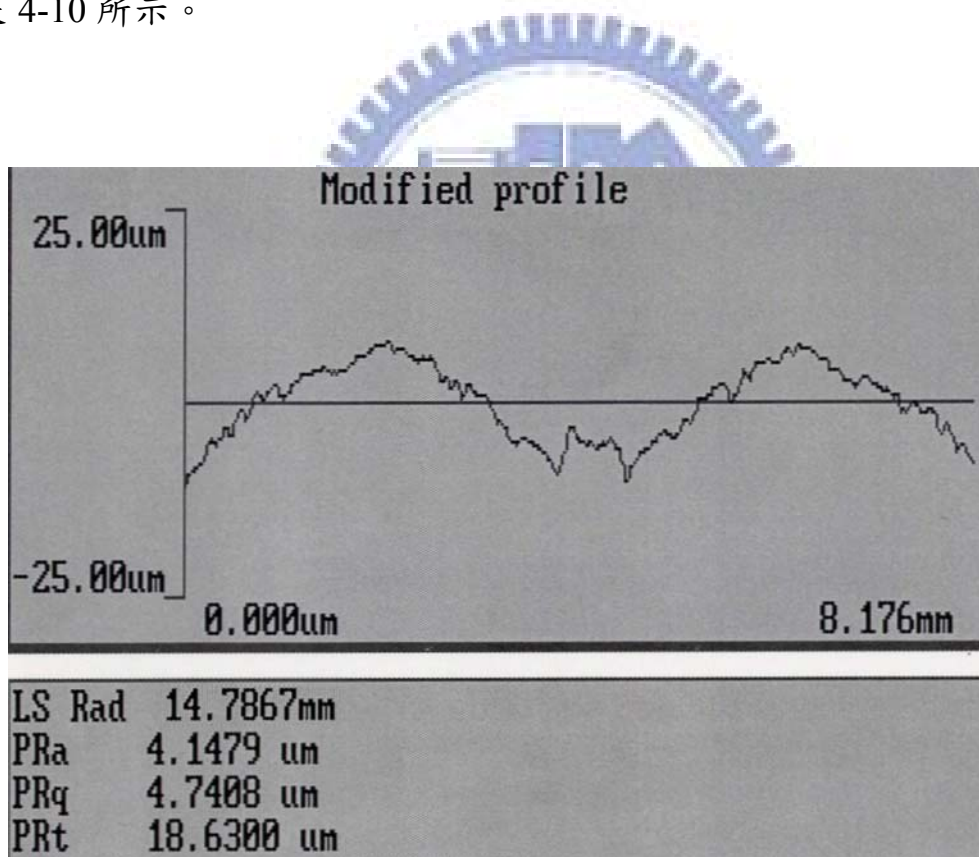


圖 4-39 無電解鎳上模仁研磨前輪廓圖

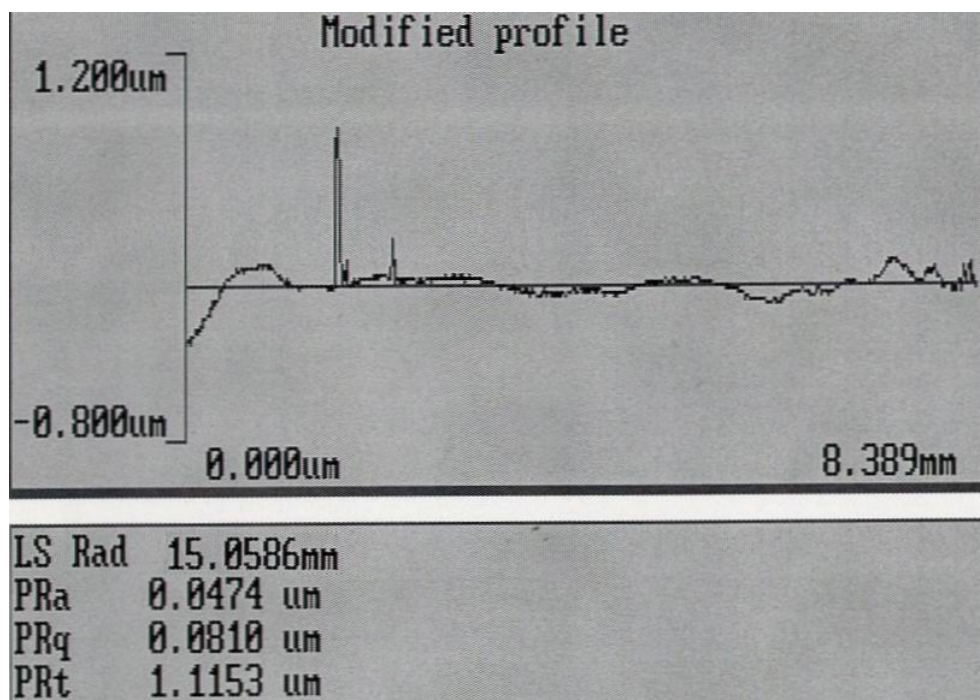


圖 4-40 無電解鎳上模仁拋光後輪廓圖

表 4-10 SK3 上模仁與無電解鎳上模仁比較表

量測值	狀態	SK3 模仁	SK3 模仁	SK3 模仁	無電解鎳模仁
		拋光後	鍍膜後	鍍膜後拋光	拋光後
量測範圍(mm)		8.377	8.389	8.375	8.389
曲率半徑(mm)		15.1284	15.1764	15.1752	15.0586
PRa (μm)		0.1109	0.3058	0.2833	0.0474
PRq (μm)		0.2275	0.4774	0.4594	0.0810
PRt (μm)		2.3698	3.4540	3.7844	1.1153

### 4.3.2 下模仁製作

下模仁所使用的材料為 SK3 工具鋼，下模仁加工方式與上模仁稍有不同，不同之處在於下模仁僅需以模盤進行對模，且下模仁加工重點在於模仁表面的平坦，在研磨、拋光過程中需留意磨盤的尺寸與擺動，避免造成下模仁形成凸面或凹面，下模仁在完成拋光、鍍膜、後拋之後，其表面輪廓如圖 4-41 所示，上下模仁加工完成外觀如圖 4-42 所示。

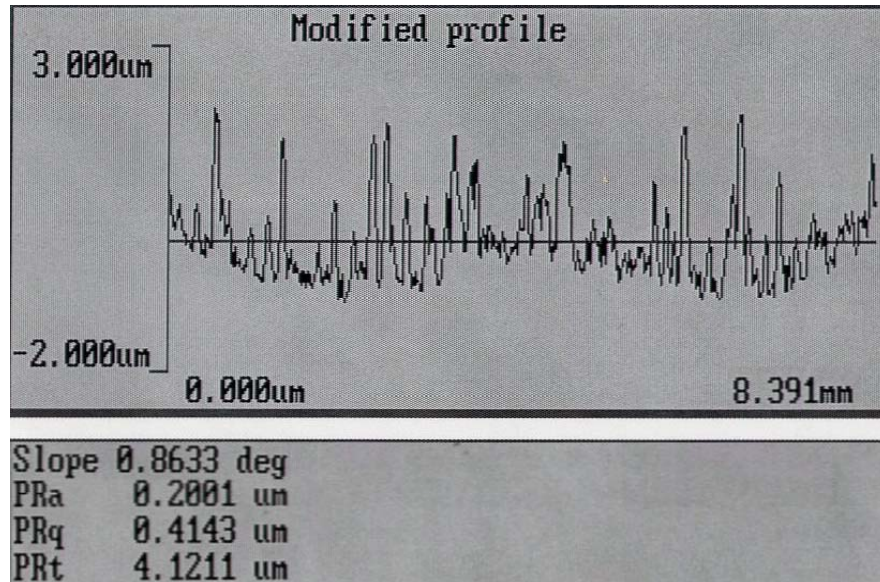


圖 4-41 下模仁完成鍍膜後拋光之後其表面輪廓圖



圖4-42 上(左圖)、下(右圖)模仁完成後外觀圖