5d98a1.tpf-1 11/27/2007 13:38:45

part

1

研磨理論
與平面研磨

第一章 緒 論

產業技術為當前國家經濟發展的原動力，也是企業生存與成長的命脈。光學製造也已成為國家重要產業之一，而目前國內光學製造技術正面臨升級之要求，為因應日新月異的非傳統光學元件製作技術之發展，勢必需要突破傳統的製作技術，以期能迎頭趕上，而不被淘汰。

目前所發展出來的新技術皆是在降低成本、提高品質（精度）、擴充功能、及能量等誘因下產生的結果，非傳統性製作技術是件革命性的創舉，1970 年代中，美國柯達公司（Eastman Kodak）開始發展鏡片模造成形的技術，以期一氣呵成地生產和研磨製作一般精度光學元件。高精度模造透鏡的原理，簡單而言即先製造出具有正確形狀精度與光學面粗糙度的模具，然後將其形狀與表面粗糙度轉印到玻璃面上。

雖然模造玻璃透鏡技術使成本下降不少。但是由於可以模造的玻璃種類很少，同時口徑不能大，所以市場問題仍未解決。此外精密塑膠射出成形技術的進步與成熟，使最近推出的相機攝影透鏡和取景透鏡，都廣泛的採用非球面塑膠透鏡和稜鏡，雷射唱盤（CD）用的光學讀寫頭（PICK UP）透鏡和高解析度電視的投影透鏡手機鏡頭也採用非球面塑膠透鏡，因為它的性能高、成本低。

總之，模造玻璃透鏡技術，是屬於資本技術密集工業。但還不具經濟效益及商業價值，而塑膠射出成形技術已相當普及，但因面臨可使用塑膠材料太少及熱膨脹係數太大等限制，僅能使用於中、低價位的光學器材。自第二次世界大戰時所發展出來的傳統球面鏡量產方法——成形、研磨、拋光、定心、鍍膜以來，迄今尚無製程上的大改變，以致生產效率低、成本高，世界訂單日漸萎縮，工廠難以維持。但是光學系統產品規格卻不斷提高，設計上都莫不考量採用非球面鏡，造成傳統的製程更如雪上加霜難以生存。

在傳統上光學製造一直被視為是高度依靠經驗技巧的專業技術，因由技術熟練的技師來設計並監督光學製造的每一步驟，可以生產極好且高品質的光學鏡面。但近年來產品的需要量與產品多樣化的需求大為增加，為配合實際要求，並降低成本，減少對人工的依賴及加強產品品質，所以光學製造逐漸走向自動化的路線。例如以桌上型電腦、微處理機來幫助解決研磨及修正研磨方式上的問題。

本書仍提出自動化光學製造新技巧之研究，以克服傳統光學製造之限制，建

議製程方法說明如下：玻璃熔解、熔塊、加熱成形、自動或半自動研磨拋光、連續式蒸鍍及檢測等步驟，前三步驟屬於上游，本書著重在自動或半自動研磨拋光及回授檢測，並闡述元件及系統的光學檢測。

第二章、提出一粒子理論作為在微觀研究的基礎。主要是分析光學表面各個質點的性質，以及在與研磨工具接觸後，此性質對質點本身及鄰接各質點的研磨效應。

第三章、由粒子理論建立微觀光學表面研磨模式，討論在不同材料性質（如：結晶形狀、鍵結能、硬度）下有何不同研磨效應。同時考察摩擦力對研磨的影響，並推導出研磨方程式：普林斯敦方程式（Preston Eq.）之比例常數 k 值。

第四章，探討研磨液水紋法做監視超硬、且薄的精密光學平板的研製通程中磨盤的平整度理論研究。

第五章、實驗，首先根據擺動研磨機的光學表面研磨模式去研磨玻璃光學平板，另外用研磨液水紋法及行星式運轉雙面研磨機來製造超硬且薄的藍寶石平板透鏡。

5d98a2.tpf-1 12/13/2007 13:28:39

第二章 粒子模式的設計

2-1　粒子模式的基本原理（參閱參考資料 1-3）

在微觀的研磨理論，我們考慮磨去的玻璃材料顆粒大小是相同的（在實際上斷裂的粒子大小分佈如圖 2-1），這些小粒子在材料內是以彈性介質鍵結在一起，當有外力加在材料上，則粒子間就會有相互作用力（即所謂的內力），依虎克定律（$F=-kX$），粒子間就會有相對位移。隨外力的改變，粒子內力的大小超過彈性介質所能承受的彈性限度，粒子的鍵結就斷裂，鬆弛的粒子就脫落。磨去材料的多寡就由脫落的粒子個數決定。（參閱參考資料 1-3）為決定粒子間內力的大小，首先利用靜力平衡求外力和內力之關係式；為引用虎克定律把 x, y 方向的內力 F_x、F_y 轉換成徑向、切向的內力 F_n、F_t；和變形量（相對位移）Δn，ΔS 以座標旋轉轉換成 $\Delta x, \Delta y$（在 x, y 方向的相對位移），然後決定 Δx 與 Δy 和絕對位移 U_x, U_y 的關係。由這些轉換可推出外力與各個粒子絕對位移的矩陣關係式。若外力已知則絕對位移 U_x, U_y 可算出，而復內力即可知。

為符合研磨的機械運動，再加入動力的運動方程，以決定任一時刻隨外力的改變各個粒子的位移及內力的變化。由粒子內力和鍵結力的大小判斷粒子是否脫落，進而可得動態研磨量。

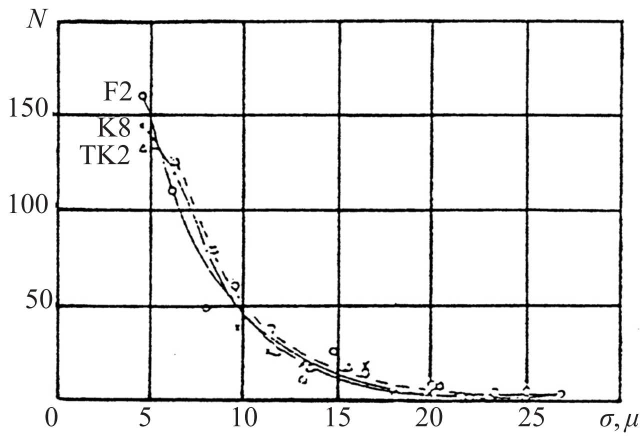

圖 2-1　在研磨時，斷裂的玻璃顆粒大小（研磨劑顆粒的直徑 $d_a=24\mu m$）

2-2　粒子模式設計

2-2-1　靜力平衡

依虎克定律在彈性限度內，外力作用於一粒子則粒子間的彈性介質會有一回復力，我們把這回復力視為粒子間的內力，滿足牛頓第三定律作用力與反作用力的關係。若考慮粒子的靜力平衡，則力的關係式為

$$f_x + \sum_{NC} F_x = 0 \tag{2.1}$$

$$f_y + \sum_{NC} F_y = 0 \tag{2.2}$$

其中 f_x，f_y 為外力在 x, y 方向的分量，

F_x，F_y 為鄰接粒子在 x, y 方向的內力分量，NC= 鄰接粒子的個數。

又根據力矩的向量式定義，力矩 $r = r \times F$，如力臂向量 $r = x_i + y_i$，力向量 $F = F_1\hat{i} + F_2\hat{j}$，將其寫成行列式如下：

$$r = \begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ x & y & 0 \\ F_1 & F_2 & 0 \end{bmatrix} = 0 \tag{2.3}$$

依力矩平衡，合力矩為 0，故

$$M + \sum_{NC} (F_y C_x - F_x C_y) = 0 \tag{2.4}$$

其中

M：粒子所受的外力矩

C_x，C_y 為力臂在 x, y 方向的截矩

由以上的推導，可得一粒子所受的外力與內力的矩陣關係式為

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & \cdots\cdots \\ 0 & -1 & 0 & -1 & \cdots\cdots \\ C_{1y} & -C_{1x} & C_{2y} & -C_{2x} & \cdots\cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ \cdot \\ F_{nc \cdot x} \\ F_{nc \cdot y} \end{bmatrix} \qquad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ M \end{bmatrix} = [\phi] \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ \cdot \\ F_{nc \cdot x} \\ F_{nc \cdot y} \end{bmatrix} \qquad (2.6)$$

2-2-2　F_x、F_y 及 F_N、F_T 的轉換

知粒子所受的內力，可依虎克定律計算相對位移量。因我們考慮彈性係數是對徑向、切向而言，所以得先把 F_x、F_y 轉換成 F_N、F_T。根據座標旋轉的矩陣關係

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_N \\ F_T \end{bmatrix} \qquad (2.7)$$

其中

θ：為旋轉角度，如右圖所示

F_N、F_T：內力在徑向、切向的分量，

因此，粒子受的內力轉換關係式為

令

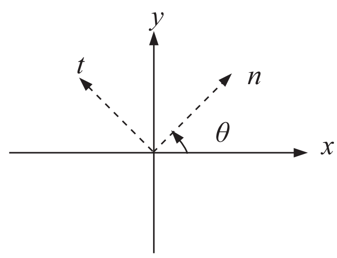

圖 2-2　F_x, F_y 與 F_n, F_t 座標轉換圖

$$[T_1]=\begin{bmatrix}\cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 & \cdots\cdots \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 & \cdots\cdots \\ 0 & 0 & \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & \cdots\cdots \\ 0 & 0 & \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & \cdots\cdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cos\theta_{NC}-\sin\theta_{NC} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \sin\theta_{NC}\ \cos\theta_{NC}\end{bmatrix} \tag{2.8}$$

$$\begin{bmatrix}F_{1x}\\F_{1y}\\F_{2x}\\F_{2y}\\\cdot\\\cdot\\F_{NC\cdot x}\\F_{NC\cdot y}\end{bmatrix}=[T_1]\begin{bmatrix}F_{1N}\\F_{1T}\\F_{2N}\\F_{2T}\\\cdot\\F_{NC\cdot N}\\F_{NC\cdot T}\end{bmatrix} \tag{2.9}$$

2-2-3　彈力和位移量的計算

依虎克定律 $F=-kX$，彈力和位移量的方向相反，k 為彈力常數。矩陣的形式為

$$\begin{bmatrix}F_N\\F_T\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-k_N & 0\\0 & -k_T\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta n\\\Delta S\end{bmatrix} \tag{2.10}$$

其中，

k_N、k_T：為徑向、切向的彈力常數

Δn、ΔS：徑向、切向的位移量

因此粒子與鄰接粒子的內力與相對位移之矩陣關係式為

令

$$KM=\begin{bmatrix} K_{1N} & 0 & 0 & 0 & \cdots\cdots & \\ 0 & K_{1T} & 0 & 0 & \cdots\cdots & \\ 0 & 0 & K_{2N} & 0 & \cdots\cdots & \\ 0 & 0 & 0 & K_{2T} & \cdots\cdots & \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & K_{NC\cdot N} & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & K_{NG\cdot T} \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

$$\begin{bmatrix} F_{1N} \\ F_{1T} \\ F_{2N} \\ F_{2T} \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{NC\cdot N} \\ F_{NC\cdot T} \end{bmatrix} = [KM] \begin{bmatrix} \Delta n_1 \\ \Delta S_1 \\ \Delta n_2 \\ \Delta S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta n_{NC} \\ \Delta S_{NC} \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

2-2-4　Δn、ΔS與Δx、Δy的轉換

為利於計算相對位移與絕對位移的關係，先以座標旋轉把Δn、ΔS 轉換成Δx、Δy，其矩陣關係式為

$$\begin{bmatrix} \Delta n \\ \Delta S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta_0 \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

其中，

θ 為旋轉角度，如右圖

Δx、Δy 為 x, y 方向的相對位移量。

令

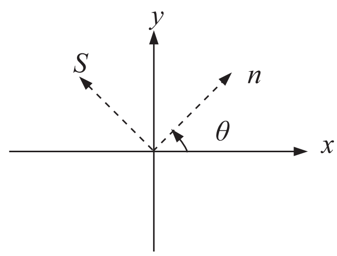

圖 2-3　ΔN、ΔS與ΔX、ΔY座標轉換圖