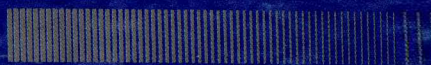
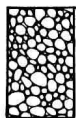


# 精密陶瓷加工法

詹福賜 編譯



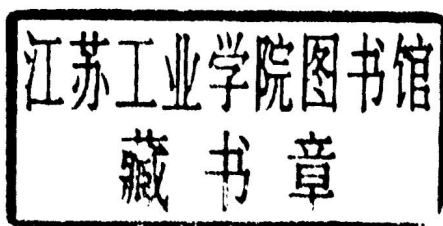
全華科技圖書股份有限公司 印行



# 精密陶瓷加工法



詹福賜 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

精密陶瓷加工法／詹福賜編譯．--初版．--臺北  
市：全華，民83  
面；公分  
參考書目：面  
ISBN 957-21-0542-6(平裝)

1.陶瓷 2.工程材料

440.341

82009572

法律顧問：蕭雄淋律師

## 精密陶瓷加工法

詹福賜 編譯

定價 新台幣 **320** 元

初版一刷／83年2月

圖書編號**0212316**

版權所有・翻印必究

出版者／全華科技圖書股份有限公司

地址／台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836-1號

發行人／陳 本 源

印刷者／宏懋打字印刷股份有限公司



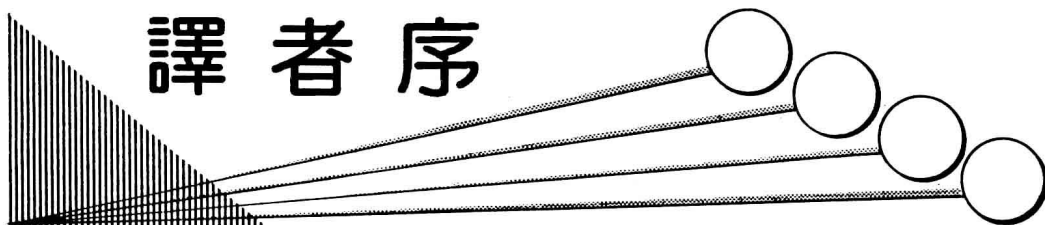
**我們的宗旨：**

**提供技術新知  
帶動工業升級  
為科技中文化再創新猷**

資訊蓬勃發展的今日，  
全華本著「全是精華」的出版理念  
以專業化精神  
提供優良科技圖書  
滿足您求知的權利  
更期以精益求精的完美品質  
為科技領域更奉獻一份心力！

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙！！

# 譯者序

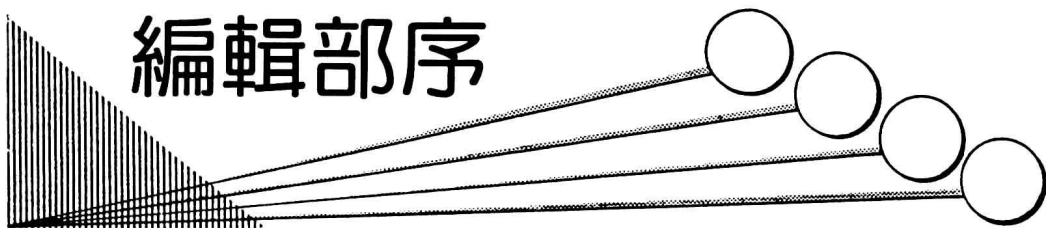


近年來，精密陶瓷成為材料革命的主流，係因其具有極優越的耐熱性、耐腐蝕性及輕量性等，因而廣泛被用於構造方面、機能方面、醫學方面的主要材料，現正積極的被研究開發當中。精密陶瓷在成形燒結時，其尺寸、形狀及表面粗度等精度，通常不能滿足所訂需求，故燒結之後仍須實施“機械加工”，但精密陶瓷所具有的特性，正是加工困難的所在，因此尋求適合於精密陶瓷的高效率、高品質的加工技術，實為目前所急需的課題。本書節錄精密陶瓷加工便覽中，有關機械加工的部份，其中各篇皆針對陶瓷材料的特性、工具的特性等，討論其機械加工的特性，以理論配合實際經驗，以實際經驗考驗理論的適用性，實為陶瓷加工方面的良書，故特編譯此書，謹供參閱。

編譯本書，雖經數次校對，如有錯誤之處敬討來函指示，不勝感激。

譯者 詹福賜 謹識  
於京都工藝纖維大學

# 編輯部序



「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

陶瓷材料在近幾年來一直都是材料科技的新寵兒，雖具有耐熱性及耐腐蝕性的特質，但因坊間少有提及陶瓷加工技術之書，故無法廣泛地應用，殊為可惜。故本書特將精密陶瓷的機械加工方法，以理論配合實務經驗的寫法呈獻給您，書中所述之高效率及高品質的加工技術有極高的參考價值，相當適合陶瓷加工方面的工程師參考，也可作為大專院校的選修教材。

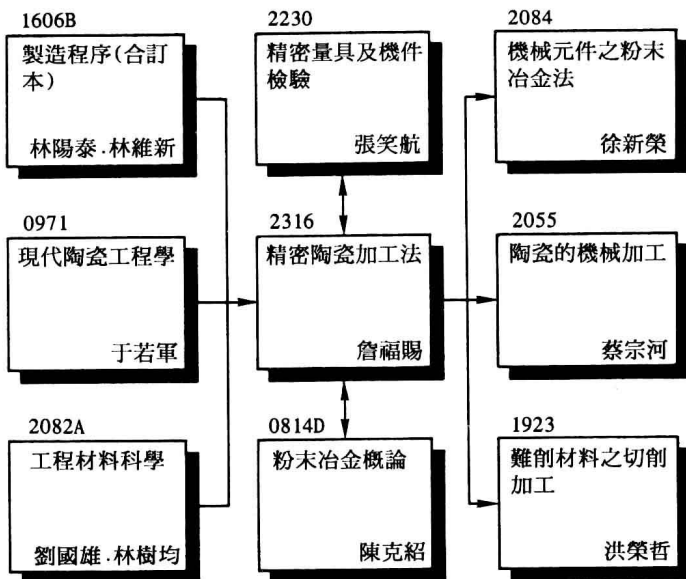
同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

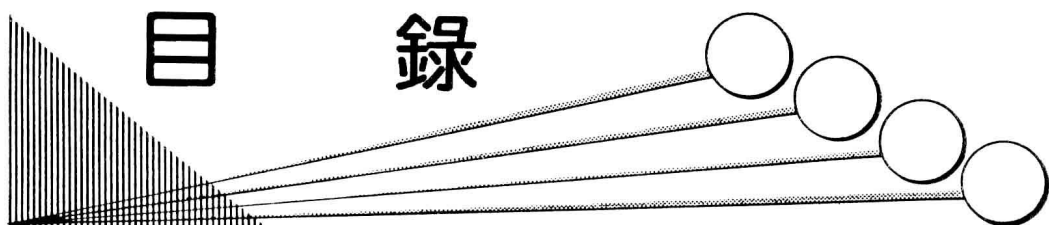
## 全華機械相關圖書

- |                                              |                                            |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1540 精密測定技術便覽<br>劉清源·詹福賜 編譯<br>16K/672頁/440元 | 2084 機械元件之粉末冶金法<br>徐新榮 編譯<br>16K/506頁/460元 |
| 1923 難削材料之切削加工<br>洪榮哲 編譯<br>20K/128頁/120元    | 2055 陶瓷的機械加工<br>蔡宗河 編譯<br>20K/376頁/260元    |
| 2208A 高科技之材料檢測<br>吳石順 編著<br>16K/592頁/480元    | 0814D 粉末冶金概論<br>陳克紹 編譯<br>20K/208頁/160元    |
| 2082A 工程材料科學<br>劉國雄·林樹均 編著<br>16K/1024頁/680元 |                                            |

●上列書價若有變動  
請以最新定價為準

## 流程圖





|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| <b>第 1 章</b> | <b>機械加工</b> .....     | <b>1</b>   |
| 1.1          | 研削加工の基礎 .....         | 2          |
| 1.2          | 陶瓷材料の研磨特性 .....       | 52         |
| 1.3          | 陶瓷の被研削性 .....         | 64         |
| 1.4          | 新的研削加工法 .....         | 82         |
| <b>第 2 章</b> | <b>磨粒加工法</b> .....    | <b>169</b> |
| 2.1          | 搪磨、超精研磨 .....         | 170        |
| 2.2          | 以研磨薄片的研磨加工 .....      | 188        |
| 2.3          | 精研加工 .....            | 210        |
| 2.4          | 拋光加工 .....            | 226        |
| 2.5          | 機械化學拋光加工 .....        | 242        |
| 2.6          | 彈性微粒加工法 ( EEM ) ..... | 257        |
| <b>第 3 章</b> | <b>其他的磨粒加工法</b> ..... | <b>273</b> |
| 3.1          | 滾桶加工法 .....           | 274        |
| 3.2          | 超音波加工法 .....          | 301        |



|                        |            |
|------------------------|------------|
| 3.3 噴射加工法 .....        | 318        |
| <b>第4章 切削加工法 .....</b> | <b>329</b> |
| 4.1 可削陶瓷的切削加工 .....    | 330        |
| 4.2 陶瓷的切削加工 .....      | 342        |
| 4.3 陶瓷的超精密切削加工 .....   | 363        |
| <b>參考文獻 .....</b>      | <b>389</b> |

# 第1章

# 機械加工

# 1.1 研削加工的基礎

## (1) 前言

以新的構造材料、機能材料或生體材料稱著的精密陶瓷，係因其具有極優越的特性而被急速的開發並廣泛的應用在各種領域。而精密陶瓷在燒結時，其尺寸精度、形狀精度、表面特性、表面粗度等，通常不能滿足所訂需求，成形燒結之後仍須實施再加工。但精密陶瓷所具有的特性正是加工困難的所在，因此尋求適合於精密陶瓷的高效率、高品質的加工技術為目前所急需的課題。目前工業界常用的二次加工法以“研磨粒加工”為主，（研磨粒加工分為固定磨粒法及遊離研磨粒法兩種），其中被認為最有前途的高效率、高品質的加工法是以鑽石砂輪的研磨加工法。

被削材料無論是金屬或陶瓷；在研削過程中，係被砂輪作用面上的磨粒，高速且微量的被削去，本質上兩者的研削過程，全然相同，因此精密陶瓷的研磨加工，仍須以磨粒的切削過程為其理論基礎，進而深入研討。

## (2) 磨粒尖端的干涉形狀

研磨加工係利用砂輪作用面上的磨粒，一個個連續不斷地高速且微量的削去被削物，為了詳細說明研磨的現象，須先從單磨粒的切削過程著手，其中的基礎條件以磨粒的切削邊與工作物的干涉條件及與砂輪作用面上的磨粒分布和加工條件有關的切屑形狀為主，而這些條件皆與切屑厚度、切屑長度及切入角度等有極密切的關係。

一個磨粒在工作物上所劃過的軌跡，可用幾何學的方式予以解析如圖1.1.1所示，設砂輪半徑為 $R_s$ ，周速為 $V_s$ ；工作物的半徑為 $R_w$ ，周速為 $V_w$ ，砂輪的研磨深度為 $\Delta$ 時，則砂輪作用面上一個磨粒a，在工作物上所劃過的

軌跡 $COO_1A$ 可用下列的拋物線表示（近似值）：

$$y = \Delta - \frac{R_s + R_w}{2K_R} (\alpha_s - Cx)^2 \quad (1.1.1)$$

其中 $C = 1 / R_s (1 + K_v)$ ， $\alpha_s = \sqrt{2\Delta K_R / R_s (1 + K_R)}$ ， $K_v = V_w / V_s$ ， $K_R = R_w / R_s$ ，但外圓筒研磨時 $1 / K_R > 0$ ，內圓研磨時 $0 > 1 / K_R > -1$ ，平面研磨時 $1 / K_R = 0$ 。

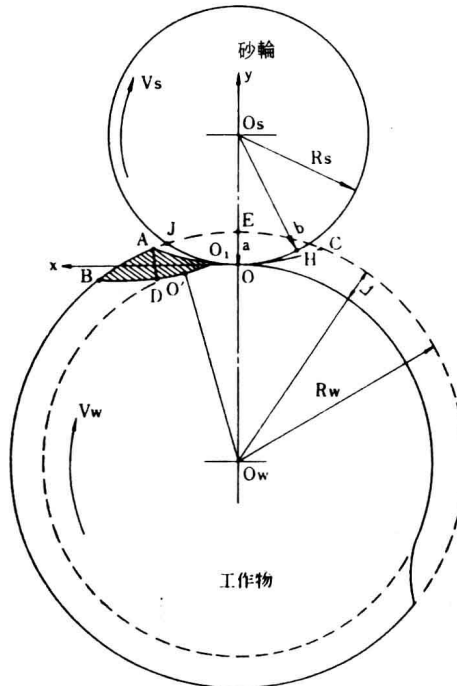


圖1.1.1 研磨加工時切屑的形狀

研磨加工時，繼磨粒 $a$ 之後，由磨粒 $b$ 所切削的切屑為 $O_1DBAO_1$ 所示的斜線部份且兩磨粒在工作物上所劃成的軌跡相同。設兩軌跡的距離為

#### 4 精密陶瓷加工法

$\overline{AB}$ ，磨粒 a 與磨粒 b 的距離（即連續切削磨粒間隔）為  $\delta$ ，則  $\overline{AB}$  可用速度比  $K_v$  及  $\delta$  的乘積表示，如此研磨加工時切屑的形狀即可用幾何學的方式求得。切屑的厚度從零逐漸增加至最大點  $\overline{AD}$ ，然後又逐漸減小至零，其最大切屑厚度  $t_{\max}$  可用下式表示：

$$t_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + K_R}{K_R} \cdot \frac{K_v}{(1 + K_v)^2} \cdot \frac{\delta}{R_s} (L - L_0) \quad (1.1.2)$$

其中  $L = 2 \alpha_s R_s (1 + K_v)$ 、 $L_0 = K_v \cdot \delta$ 。

切屑長度  $L_c$  及兩磨粒軌跡的交角（即交點之切線夾角，在此將其稱為切入角） $i_g$  分別可用下列式子表示：

$$L_c = \frac{L + L_0}{2} \quad (1.1.3)$$

$$i_g = \frac{1 + K_R}{K_R} \cdot \frac{K_v}{(1 + K_v)^2} \cdot \frac{\delta}{R_s} \quad (1.1.4)$$

切入角  $i_g$  係指磨粒開始切入工作物時的角度，在說明磨粒的切削過程時佔極重要的地位，從 (1.1.4) 式可知切入角  $i_g$  係為半徑比  $K_R$ ，速度比  $K_v$  及連續切削磨粒間隔  $\delta$  的函數，而與砂輪的切削深度  $\Delta$  無關，圖 1.1.2 所示為各種不同的半徑比倒數 ( $1 / K_R$ ) 值，切入角  $i_g$  與速度比  $K_v$  的關係圖。

在一般的研磨加工中，速度比  $K_v$  約在  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  之間，從圖可知，切入角  $i_g$  極小（約在  $10^{-3} \sim 10^{-5}$  弧度左右）。又切入角  $i_g$  隨速度比  $K_v$  增大而增大（最大至 1），同時與連續磨粒間隔  $\delta$  成正比（外徑研磨時  $1 / K_R > 0$ ，平面研磨時  $1 / K_R = 0$ ，內徑研磨時  $0 > 1 / K_R > -1$ ）也隨  $1 / K_R$  之值增大而增大。

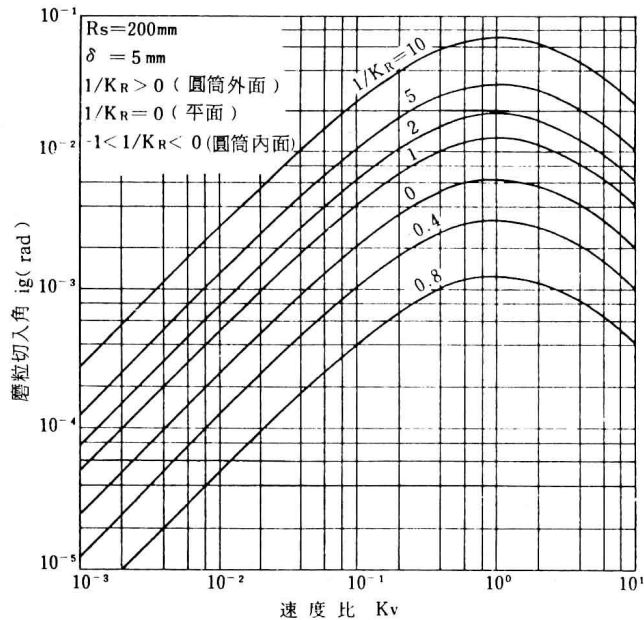


圖1.1.2 磨粒的切入角

### (3) 鑽石磨粒的切削過程

利用鑽石砂輪對精密陶瓷進行研磨時，其研磨現象係由鑽石砂輪作用面上的各個磨粒的切削過程所組成，因此單一鑽石磨粒的切削過程，佔極重要的地位。前述的磨粒干涉形狀即為基礎邊界條件之一，如圖1.1.3所示為磨粒從開始接觸至終點的切削深度變化圖，（即磨粒的切削深度，從零增至最大再減至零）。

因磨粒的傾角極小（約為  $-60^\circ \sim -85^\circ$ ）且支持剛性不大（因結合劑的不同而異，通常約  $1 \sim 2 \text{ N} / \mu\text{m}$ ），同時因磨粒尖端的圓角或磨耗導致隙角的摩擦面積，因此在精密陶瓷的研磨加工中，鑽石磨粒的干涉條件即變



6 精密陶瓷加工法

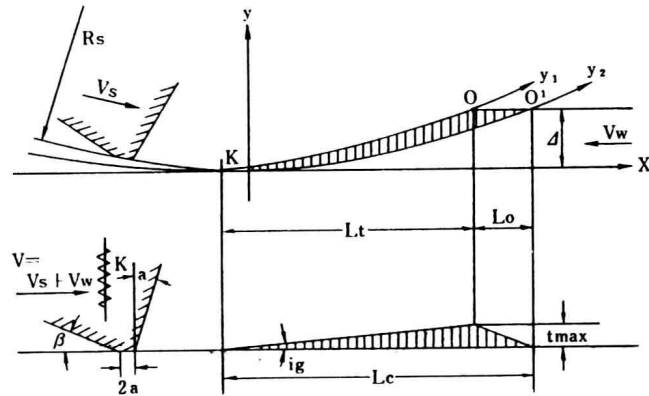


圖1.1.3 磨粒的干涉條件

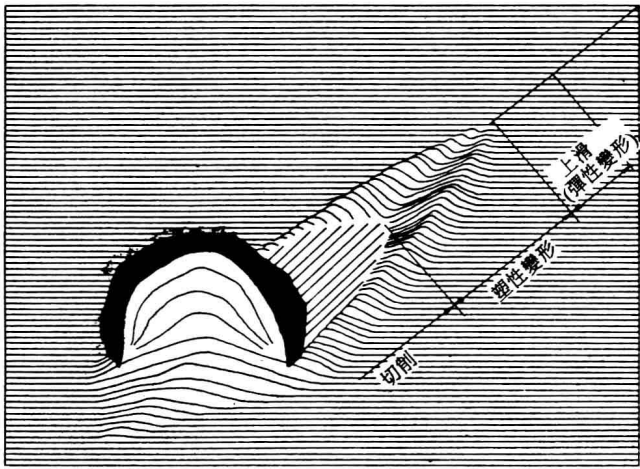


圖1.1.4 磨粒的上滑現象

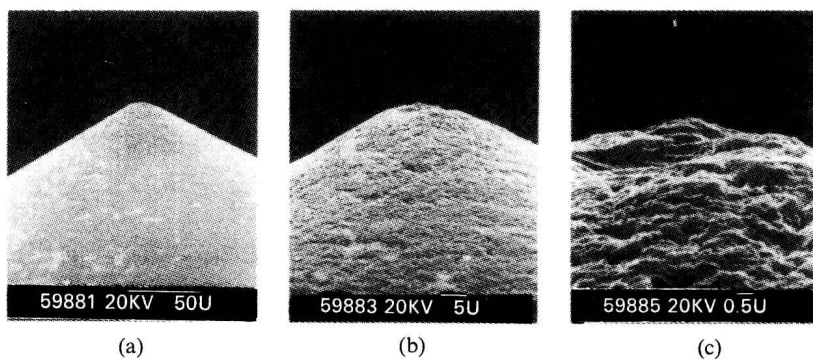
成「利用具有大的負傾角及摩擦面的彈性刀具，在極小的切入角情況下，高速的切入陶瓷材料的表面，其切入深度可視為直線變化至最大點」，在這樣的條件下，鑽石磨粒無法從開始接觸的瞬間就使工作物產生切屑，因此切屑的形狀也無法完全如圖1.1.3所示的幾何學干涉形狀，這些現象可從

金屬材料的研削解析中想像而得。如圖1.1.4所示，從接觸開始點起，磨粒被迫彈性上滑，稱為彈性變形區，直至材料產生塑性變形溝槽，再進入切削區域。

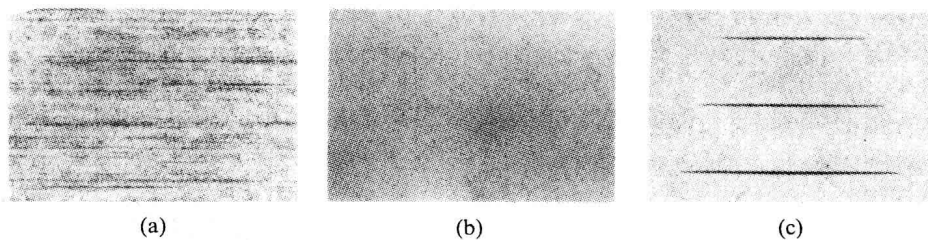
這些現象可用單一磨粒的研磨法予以檢討，在此所謂的單粒研磨法係將單磨粒利用結合劑固定在高速迴轉的鋁製圓板外周上，對光滑表面的陶瓷材料進行圓弧切削加工。照片1.1.1係為磨粒的尖端形狀（頂角為 $120^\circ$ 、尖端半徑 $r=20\mu\text{m}$ 的鑽石圓錐），所示為三種不同的放大倍率。被削材料，如照片1.1.2所示：(a)為用鑽石砂輪進行前加工後的加工表面 $R_{\text{max}}=0.1\mu\text{m}$ ，(b)為拋光後蒸鍍 $0.01\mu\text{m}$ 以下的金膜表面狀況，(c)為圓弧切削的溝槽外觀。照片1.1.3所示；為三處不同干涉深度之溝槽狀態。(a)為干涉開始點附近的狀態，此處只有部份全膜被削去，材料表面未被切成溝槽，因此可認為此部分係為磨粒上滑的彈性領域，(b)為干涉深度較大之處，材料表面有微量的溝槽產生，但溝槽底面與周圍表面的紋路相同，根據此點可判定此溝槽係因材料的塑性變形所致。(c)為干涉深度更大之處，溝槽處產生脆性破壞狀態並有許多粒狀或層狀的切屑附著於其上，因此將此領域稱為切削領域，圖1.1.5所示為一個圓弧溝槽的三次元表示形狀，圖中，一點劃線所示的形狀，係利用鍍金膜的剝離狀態及前述的干涉起迄點為基礎所劃成，在此稱之為理論干涉形狀。實線部分即為材料表面上的溝槽形狀、虛線則表示干涉溝槽周圍隆起的範圍。

圖中顯示：磨粒與陶瓷材料在干涉的起點或終點附近皆有彈性領域存在，同時在干涉深度微小之處（即塑性變形領域）的斷面曲線較為圓滑，而在溝槽較深之處（即切削領域）卻顯現凹凸劇烈的斷面曲線。在溝槽的兩側，仍然含有遠比金屬材料小的微小塑性變形隆起現象產生。

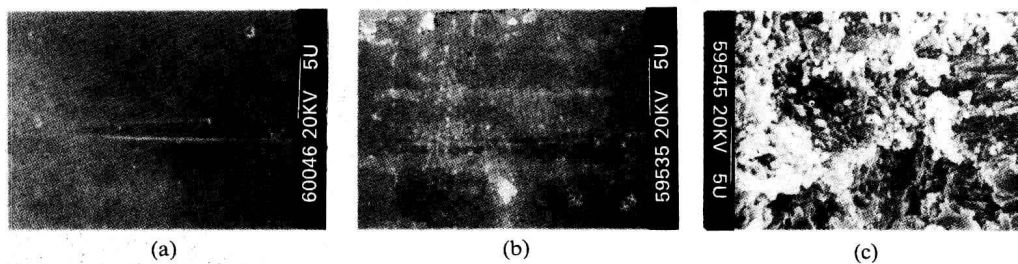
## 8 精密陶瓷加工法



照片1.1.1 圓錐狀的鑽石磨粒（頂角 $120^\circ$ ，尖端半徑 $20\mu\text{m}$ ）



照片1.1.2 被削材的前加工面及單磨粒的研磨溝槽（ $V=2432\text{m/min}$ ）



照片1.1.3 Sialon的單粒研磨溝槽