

## 鎗鑽刀具磨耗之三度空間幾何模型 The Three Dimension Geometric Model of Worn Gundrill Tool

蔡忠良 王恩海 王正 周士琰

Chung-Liang Tsai, En-Hai Wang, Jeng Wang, Shih Yeh Chou

黎明技術學院機械工程學系

Department of Mechanical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

### 摘 要

本研究係針對深孔加工製程中所需之鎗鑽刀具，進行磨耗刀具之三度空間幾何分析，藉以提供深孔精密加工製程中，因刀具磨耗後幾何變化所造成之切屑流動、剪切面積及各項幾何角度變化情形。本研究利用三維幾何圖形明確表示磨耗刀具與切屑之空間幾何結構，描述刀具幾何角度與切削條件之相對關係。藉由磨耗刀具、切屑、切削條件及刀具幾何角度之關係，建構鎗鑽刀具磨耗時之三度空間幾何模型，以作為未來預測切削力之依據與參考。

**關鍵詞：**鎗鑽、幾何模型、磨耗刀具

### Abstract

A three-dimension geometrical model of worn gundrill is presented in this paper. By using the geometric model, the relationships among undeformed chip thickness, chip flow direction, cutting condition and geometric angles are constructed. This is the essential work to provide the analysis of cutting behaviors in a worn gundrill tool in the future.

**Key Words:** Gundrill, geometric model, worn tool



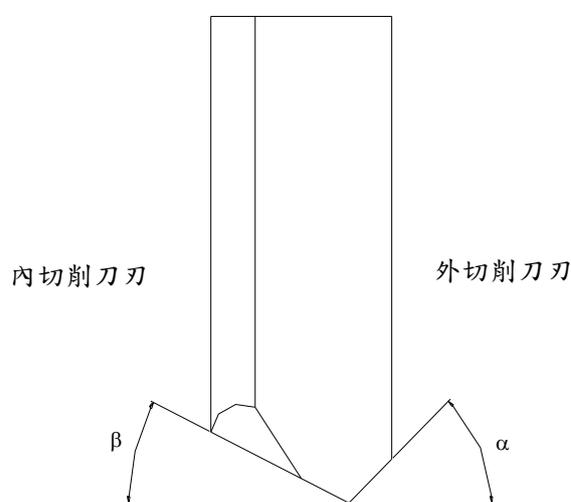
## 1. 前言

在機械工業別中，如：小型塑出成型機之料管，軍火工業之機槍管，紡織用之中空軸、灌嘴、噴嘴-----等，均有具鏡面深孔加工之要求。其中零件孔徑約在 $\Phi 20\text{mm}$ 以下，孔長比 $L/D$ 大於5以上鏡面深孔之加工，一直為無法達到業界所要求之水準。最主要原因是其加工時間過長，品質精度不均，成本過高等問題一直未能有效解決。因此研究切削力在深孔加工時之變化，以及刀具幾何角度對切削力之影響，為研究深孔加工首要工作。有一些有關利用鑽頭進行深孔加工切削力之探討，如1992年A. Katsuki等[1]也探討單刃與多刃刀具幾何對深孔鑽軸孔之偏移影響，1997年Z. M. Wang[2]等分析刀具幾何形狀、加工參數、導引部對力量作用於鑽頭之影響。2002年V. P. Astakhov [3,4]對槍鑽進行簡單之機構分析及提出切削力簡易分析模式。在2004年Wei Zhang [5]等針對高硬度鋼受槍鑽加工時進行一些刀具幾何之探討，該項研究亦僅止於刀具未磨耗狀態下之探討。由於槍鑽刀具具有不對稱刀具幾何，且具有絞刀效果之刀刃部，當刀刃磨耗時，這些均會影響切削行為，特別是槍鑽利用內管高壓切削液供給、外V形槽排屑，切屑之形態影響斷屑、排屑，不良排屑將造成異常行為，並會傷害加工表面特性。故在本文中將藉由槍鑽深孔刀具內、外切削刃所產生磨耗之三維立體幾何關係，對切削刀具之刀具幾何角度、切削流動及剪切面之幾何關係進行幾何關係之分析。

## 2. 槍鑽之刀刃幾何分析

槍鑽鑽頭如圖一所示，為一單刃槍鑽切削刀具，包含外切削刀刃與內切削刀

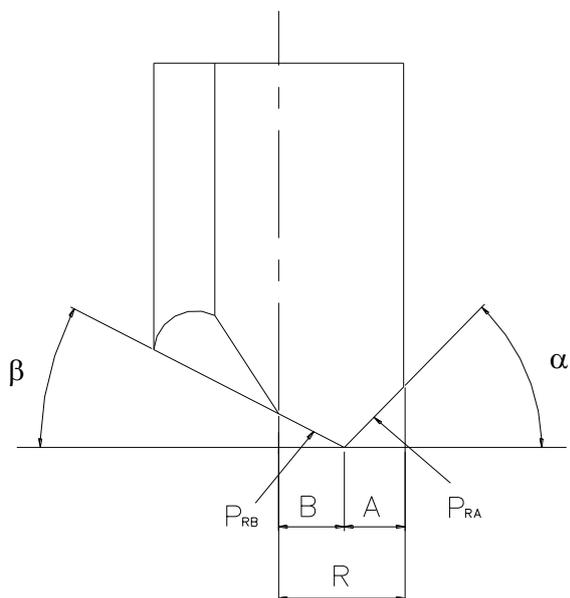
刃，刀刃切削部分則由內切削角(inner cutting angle)、外切削角(Outer cutting angle)之幾何角度所構成。切削幾何角度主要是以外切削角 $\alpha$ 和內切削角 $\beta$ 組合所組成，但是切削加工主要以外切削角 $\alpha$ 為主，而內切削角是 $\beta$ 輔助少部分的切削，隨加工材料之不同、槍鑽刀具直徑等之不同，而有所差異。



圖一、槍鑽鑽頭示意圖

如圖二所示，刀刃之相關構成有A、B、R、 $\alpha$ 、 $\beta$ 與切削刀關係。由於槍鑽刀具，其形狀並非對中心軸對稱，刀具頂點並非中心。一般設計為 $A=D/4$ ，外切削刀刃(A範圍)與內切削刀刃(B範圍)所作用之切削力的半徑方向分力 $P_{RA}$ 與 $P_{RB}$ 。因槍鑽鑽頭之角度為不等角設計( $\alpha > \beta$ ， $A > B$ )，且主要加工在外切削刀刃，亦即在A刀刃斜面受有比B刀刃斜面較大之切削力。本研究之步驟是首先建立一三維幾何分析模型，將槍鑽之切刃、未變形切刃及切屑以三維幾何圖表示，配合刀具幾何角度、切削條件等形成一完整之三維幾何立體切削模式，可明確描述真實之切削行為。



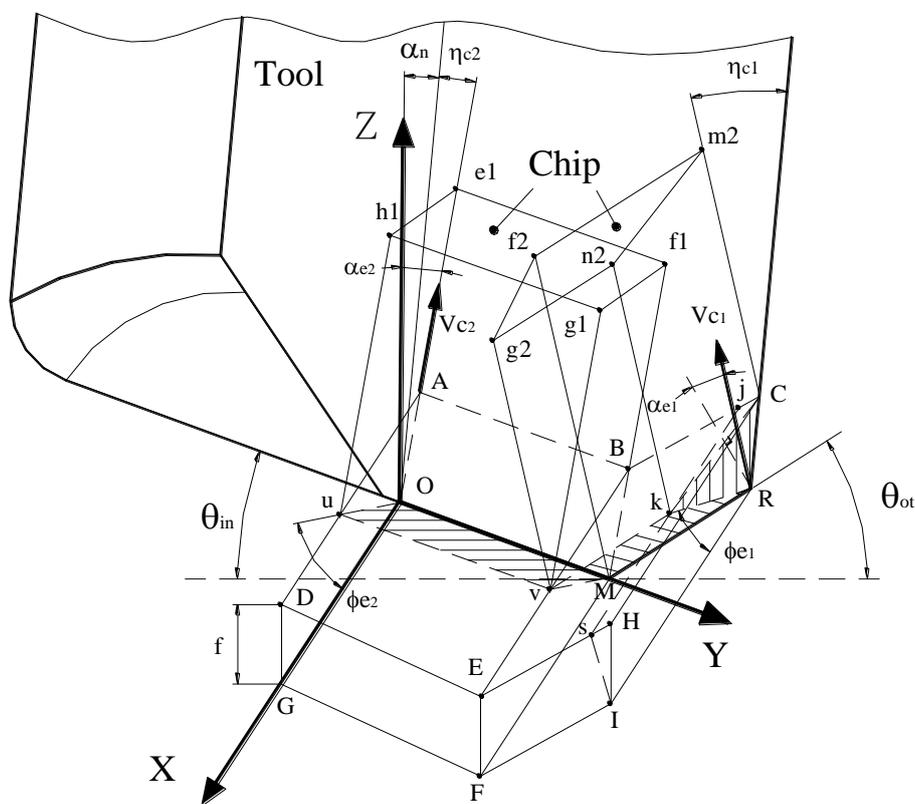


圖二、鎗鑽切削刃之切削

### 3. 鎗鑽三維幾何模式

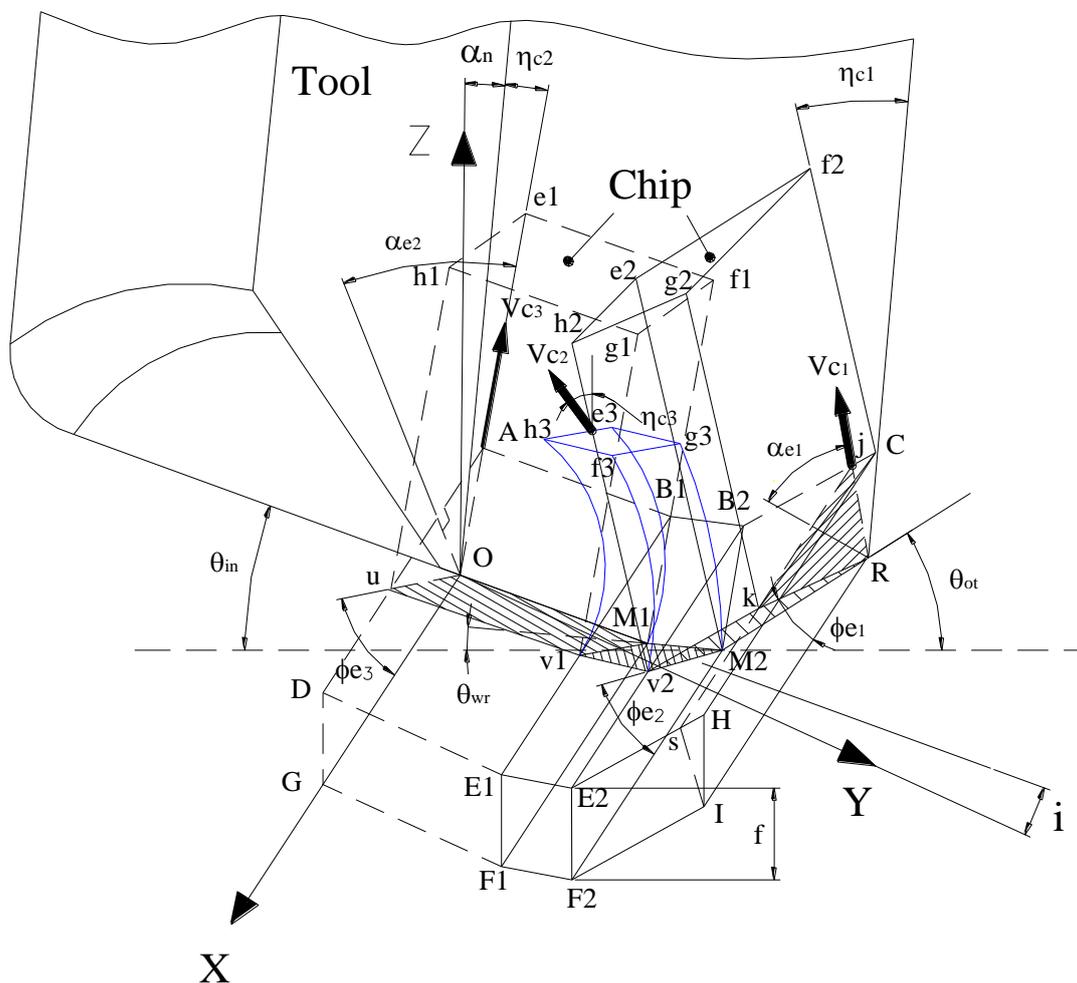
藉由圖一、二中之鎗鑽鑽頭及切削刃之刀具幾何分析，可建立具有刀具幾何角度、刀具切削角度及切屑流動方向之鎗鑽之三維立體模型，如圖三所示。

參考圖三，本文所提出之鎗鑽三維鎗鑽切削模型，其切削刃可分為內切削刃 OM 與外切削刃 MR。同時，以內切削刃軸線方向定義為 Y 軸，在刃刀平面上與 Y 軸垂直方向定義為 Z 軸，另垂直於 Y-Z 軸平面之方向定義為 X 軸。外切削刃 MR、內切削刃 OM 與水平線之交角，分別定義為外切削角  $\theta_{ot}$  和內切削角  $\theta_{in}$ 。當鎗鑽以進給  $f$  進行切削時，未變形切屑 "DEFG" 受內切削刃 OM 切削產生切屑 "e<sub>1</sub>f<sub>1</sub>g<sub>1</sub>h<sub>1</sub>"；而未變形切屑 "EHIF" 則受外切削刃 MR 切削產生切屑 "f<sub>2</sub>g<sub>2</sub>n<sub>2</sub>m<sub>2</sub>"。其



圖三 鎗鑽之三維切削模型





圖四 槍鑽磨耗之三維切削模型

中，外切削刀 MR 切削所產生之切屑以  $\eta_{c1}$  角度及  $V_{c1}$  速度由刀面上滑出；而內切削刀 OM 切削所產生之切屑則以  $\eta_{c2}$  角度及  $V_{c2}$  速度由刀面上滑出。外切削刀 MR 在切削未變形切屑"EHIF"時，工件受擠壓變形，形成一剪切面"vkRM"，該平面與外切削刀 MR 所在平面之夾角定義為第一剪切角  $\phi_{e1}$ ；又內切削刀 OM 在切削未變形切屑"DEFG"時，工件受擠壓變形，形成一剪切面"uvMO"，該平面與內切削刀 OM 所在平面"GFMO"之夾角定義為第二剪切角  $\phi_{e2}$ 。在計算切削力時，刀具之斜角(rake angle)為一重要影響因數，於槍鑽

中為分析及計算方便，將刀具中心線與 Z 軸座標線之夾角定義為法向斜角  $\alpha_n$ ，外切削刀 MR 所形成之切屑流動向與 Z 軸方向所形成之夾角則定義為第一有效後斜角  $\alpha_{e1}$ ；另內切削刀 OM 所形成之切屑流動向與 Z 軸方向所形成之夾角則定義為第二有效後斜角  $\alpha_{e2}$ 。由本文所提出之模型可以發現，槍鑽刀具切削刃由兩段不連續切削刃所形成，由內、外切刃以一"V"形連接，外切削刀 MR 切削時形成之切屑會與內切削刀 OM 切削時形成之切屑切削時形成之切屑相互擠壓方式而流出刀具切削面。



由上述三維幾何圖分析鎗鑽之切削可知，鎗鑽之切削為內、外兩切削刃所合成之切削效果，改變外切削角  $\theta_{ot}$  和內切削角  $\theta_{in}$  將明顯改變切屑走向。本模式所定義之第一、二切屑流動角  $\eta_{c1}$  與  $\eta_{c2}$ 、第一、二剪切角  $\phi_{e1}$  與  $\phi_{e2}$  以及第一、二有效後斜角  $\alpha_{e1}$  與  $\alpha_{e2}$  等切削幾何角度，將作為鎗鑽刀具推導切削力公式之依據。

#### 4. 鎗鑽刀具磨耗之幾何模式

如圖四所示，為一鎗鑽刀具內、外切刃磨耗後之幾何圖形，其中切削刃磨耗後可分為內切削刃  $OM_1$ 、中間磨耗刃  $M_1M_2$  與外切削刃  $M_2R$ 。除外切削刃  $M_2R$ 、內切削刃  $OM_1$  與水平線之交角，分別仍為  $\theta_{ot}$  和  $\theta_{in}$  外，新形成之中間磨耗刃  $M_1M_2$  與水平線之交角則定義為  $\theta_{wr}$ ，另有一傾角  $i$ 。當鎗鑽以進給  $f$  進行切削時，未變形切屑  $DE_1F_1G$  受內切削刃  $OM_1$  切削產生切屑  $f_1g_1h_1e_1$ ；未變形切屑  $E_2HIF_2$  則受外切削刃  $M_2R$  切削產生切屑  $f_2g_2h_2e_2$ ；而未變形切屑  $E_1F_1F_2E_2$  則受中間磨耗刃  $M_1M_2$  切削產生切屑  $f_3g_3h_3e_3$ 。其中，外切削刃  $M_2R$  切削所產生之切屑以  $\eta_{c1}$  角度及  $V_{c1}$  速度由刀面上滑出；內切削刃  $OM_1$  切削所產生之切屑則以  $\eta_{c2}$  角度及  $V_{c2}$  速度由刀面上滑出；而中間磨耗刃  $M_1M_2$  切削所產生之切屑則以  $\eta_{c3}$  角度及  $V_{c3}$  速度由刀面上滑出。外切削刃  $M_2R$  在切削未變形切屑  $E_2HIF_2$  時，工件受擠壓變形，形成一剪切面  $v_2M_2Rk$ ，該平面與外切削刃  $M_2R$  所在平面  $F_2IRM_2$  之夾角定義為第一剪切角  $\phi_{e1}$ ；內切削刃  $OM_1$  在切削未變形切屑  $DE_1F_1G$  時，工件受擠壓變形，形成一剪切面  $uv_1M_1O$ ，該平面與內切削刃  $OM_1$  所在平面  $GF_1M_1O$  之夾角定義為第二剪切角  $\phi_{e2}$ ；又中間磨耗刃  $M_1M_2$  在切削未變形切屑  $E_1F_1F_2E_2$  時，工

件受擠壓變形，形成一剪切面  $v_1v_2M_2M_1$ ，該平面與中間磨耗刃  $M_1M_2$  所在平面  $F_1F_2M_2M_1$  之夾角定義為第三剪切角  $\phi_{e3}$ 。在計算切削力時，將刀具中心線與  $Z$  軸座標線之夾角定義為法向斜角  $\alpha_n$ ，外切削刃  $M_2R$  所形成之切屑流動向與  $Z$  軸方向所形成之夾角則定義為第一有效後斜角  $\alpha_{e1}$ ；內切削刃  $OM_1$  所形成之切屑流動向與  $Z$  軸方向所形成之夾角則定義為第二有效後斜角  $\alpha_{e2}$ 。由本文所提出之鎗鑽刀具磨耗模型可以發現，鎗鑽刀具切削刃在未磨耗前，由兩段不連續切削刃所形成之一  $V$  形連接，於刀具磨耗後，刀具外型形成外開  $U$  形狀，外切削刃  $M_2R$  切削時形成之切屑會與內切削刃  $OM_1$  切削時形成之切屑，壓迫中間磨耗刃  $M_1M_2$  切削時形成之切屑，三者相互擠壓方式而流出刀具切削面。

由上述三維幾何圖分析磨耗後之鎗鑽切削行為可知，磨耗後之鎗鑽之切削為內、外兩切削刃及中間磨耗刃所合成之切削效果，改變外切削角  $\theta_{ot}$  和內切削角  $\theta_{in}$  將明顯改變切屑走向。本模式所定義之第一、二、三切屑流動角  $\eta_{c1}$ 、 $\eta_{c2}$  與  $\eta_{c3}$ ，第一、二、三剪切角  $\phi_{e1}$ 、 $\phi_{e2}$  與  $\phi_{e3}$  以及第一、二有效後斜角  $\alpha_{e1}$  與  $\alpha_{e2}$  等切削幾何角度，將影響推導切削力公式之結果。

#### 5. 切削能與剪切面

依據切削理論，由於刀具切削時之切削能  $(U)$  為切屑剪切變形能  $(U_s)$  與刀面摩擦能  $(U_f)$  之總和，因此，

$$U = U_s + U_f \quad (1)$$

其中剪切變形能  $(U_s)$  是工件材料受剪切變形所產生之能量可由下列式求得：

$$U_s = V_s A \tau_s \quad (2)$$



上式中  $V_s$  為剪切速度、 $\tau_s$  為工件材料之剪力強度， $A$  為剪切面積。以本模式而言，磨耗後槍鑽切削之剪切面積分為三部份，其包含(1) $v_2 M_2 R_k$  區域、(2) $v_1 v_2 M_2 M_1$  區域及(3) $uv_1 M_1 O$  區域)三區域。

而刀面摩擦能( $U_f$ )是切屑流過刀面所產生之摩擦能量可由下列式求得：

$$U_f = F_f V_c \quad (3)$$

上式中  $V_c$  為切屑速度、 $F_f$  為刀面上之摩擦力。因此，切削能  $U$  可表示為：

$$U = U_s + U_f = f(A, Q_p, V, \beta, \alpha_e, \phi_e, \tau_s)$$

其中  $Q_p$  為剪切面於刀具表面上之投影面積，可視為切削流經刀具表面之磨擦刀具有效面積，其包含(1) $OAB_1 M_1$  區域、(2) $M_1 B_1 B_2 M_2$  區域及(3)  $M_2 B_2 CR$  三區域。

## 6. 結論

由本模式推知，槍鑽於磨耗狀態下切削時，外切削刃、內切削刃與中間磨耗刃分別產生切削及擠壓工件材料作用，形成三個獨立的剪切變形區，三個剪切變形區擠壓切削後之切屑，分別以不同的角度流出刀面，由三維幾何幾何模型檢視，三切屑流動時相互會擠壓干涉。藉由本文所提出之三維幾何圖中可將刀具分析、設計所需之內、外切削角、第一、二、三切屑流動角、第一、二、三剪切角以及第一、二有效後斜角等切削幾何角度作明確之定義。

本研究藉由三維切削模型之建立，定義各項切削參數、條件與切屑流動方向。同時，將槍鑽磨耗後之切削分為內、外兩切削刃與中間磨耗刃所合成之切削效果，藉此未來可提供槍鑽切削產生磨耗時對切

削力進行預測分析，並作為刀具製造商設計刀具時，磨耗狀態之預防與最佳化刀具設計之參考。

## 參考文獻

1. A. Katsuki, H. Onikura, H.K. Sakuma, T. Chen, Y. Murakami, The influence of workpiece geometry on axial hole deviation in deep-hole drilling, *JSME International Journal* 35 (1992) 160-167.
2. Z. M. Wang, E. O. Ezugwu, D. Su, Advances in the precision machining of small deep holes, *Journal of Materials Processing Technology* 68(1997), pp.257-261.
3. V. P. Astakhov, The mechanisms of bell mouth formation in gundrilling when the drill rotates and the workpiece is stationary. Part 1 : the first stage of drill entrance, *International Journal of Machine Tools* 42 (2002), pp.1135-1144.
4. V. P. Astakhov, The mechanisms of bell mouth formation in gundrilling when the drill rotates and the workpiece is stationary. Part 2 : the second stage of drill entrance, *International Journal of Machine Tools* 42 (2002), pp. 1145-1152
5. Wei Zhang, Fengbao He, Dilin Xiong, Gun-drill life improvement for deep-hole drilling on manganese steel, *International Journal of Machine Tools* 44 (2004), pp. 327-331.

