

磨耗鎗鑽刀具之幾何模型與實測切削力討論  
The discussions of Cutting Forces in Worn Gundrill  
Tool Between Geometric model and  
Experimental Results

蔡忠良

Chung-Liang Tsai

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用之鎗鑽刀具，進行磨耗刀具之切削模式與實測切削力討論，藉以提供深孔精密加工製程中，因刀具磨耗後所造成之切削力變化與分析，除將切屑流動、剪切面積及各項幾何角度變化之因子納入分析模組中，更以刀具磨耗所造成之切削力變化為本論文探討之主軸，並以未磨耗與磨耗後之切削實驗值做比較與討論。

**關鍵詞：**鎗鑽、切削力、磨耗刀具

Abstract

The geometric model and experimental discussions of cutting forces in worn gundrill tool in deep hole drilling process is presented in this paper. By using the geometric model, the cutting factors, including undeformed chip thickness, chip flow direction, cutting condition and geometric angles, are constructed and to provide a discussion about the theoretic model and experimental cutting forces in a worn gundrill tool.

**Key Words:** gundrill, cutting force, worn tool



## 1. 前言

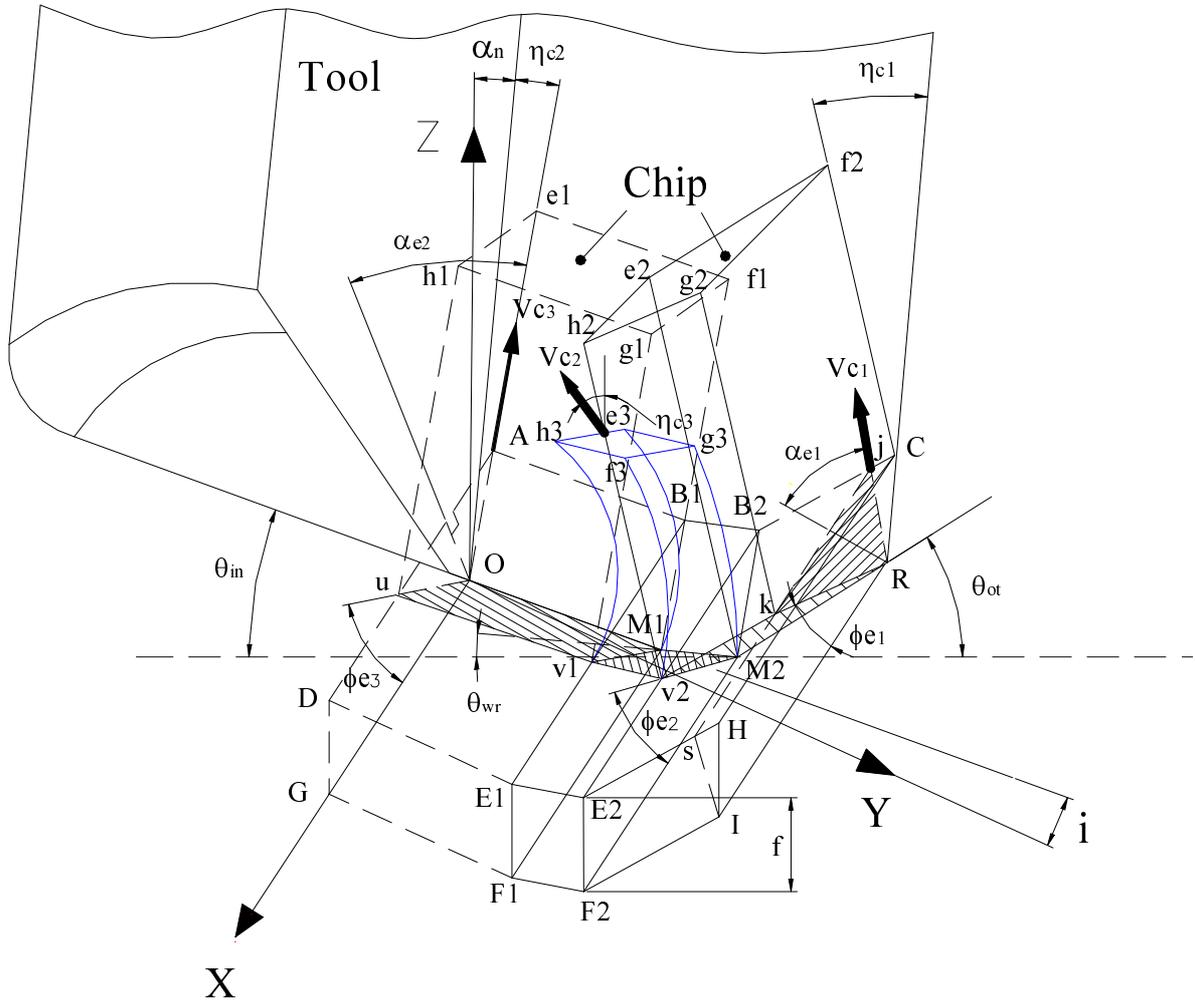
1992年 A. Katsuki 等[1]探討單刃與多刃刀具幾何對深孔鑽軸孔之偏移影響，1997年 Z. M. Wang[2]等分析刀具幾何形狀、加工參數、導引部對力量作用於鑽頭之影響。2002年 V. P. Astakhov [3,4]對槍鑽進行簡單之機構分析及提出切削力簡易分析模式。1984年 Ming-Fang Hua[5]在其所編著之『Analysis of factors influencing deep hole drilling』書籍中針對影響深孔鑽因素提出討論，另外在2004年 Wei Zhang [6]等針對高硬度鋼受槍鑽加工時進行一些刀具幾何之探討，該項研究亦僅止於刀具未磨耗狀態下之探討。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，進行切削力幾何模型與實測之比較與分析。

## 2. 磨耗槍鑽之刀刃幾何模型

如圖一所示，為一槍鑽刀具內、外切削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  $i$ 。當槍鑽以進給  $f$  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  $v_2 M_2Rk$ ，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  $v_1 v_2M_2M_1$ ，該平面與中間磨耗刃  $M_1M_2$  所在平面  $F_1 F_2M_2M_1$  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  $\alpha_{e2}$ 。由本文所提出之槍鑽刀具磨耗模型可以發現，槍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。





圖一 磨耗鎗鑽之刀幾何模型

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，除原有之外切削角  $\theta_{ot}$  和內切削角  $\theta_{in}$  外，產生一中間磨耗刃角  $\theta_{wr}$ ，並改變外切削角  $\theta_{ot}$  和內切削角  $\theta_{in}$  之切屑走向。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  $\phi_{e3}$ 、第一、二有效後斜角  $\alpha_{e1}$  與  $\alpha_{e2}$  以及外切削角  $\theta_{ot}$ 、內

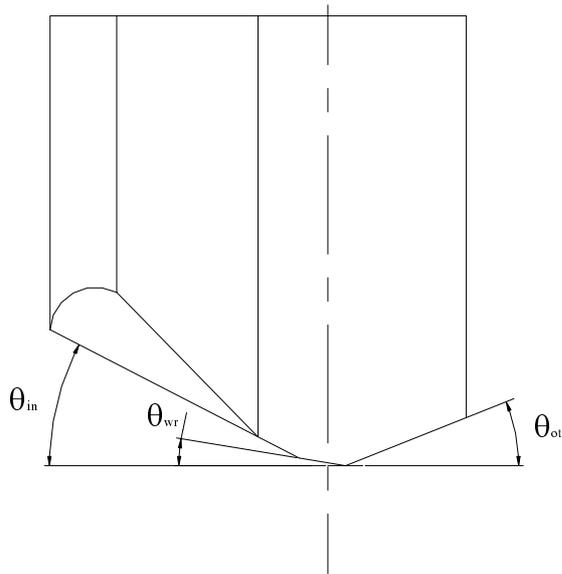
切削角  $\theta_{in}$ 、中間磨耗刃角  $\theta_{wr}$  等切削幾何角度，將影響切削力分布及變化情形。藉由上述幾何分析，未來將可以此觀念提出完整之數學模式與理論分析。

### 3. 刀刃上三軸切削力之討論

如圖二為磨耗鎗鑽之刀刃幾何切削角度，當刀具尖端產生磨耗時，形成三段切削刃，各切刃切削力之分力如圖三、四、五所示，分別為外切削刃上軸向分力



$F_{A1}$ 、徑向分力  $F_{R1}$ 、主切削力  $F_{M1}$  之分佈圖，內切削刃上軸向分力  $F_{A2}$ 、徑向分力  $F_{R2}$ 、主切削力  $F_{M2}$  之分佈圖及磨耗切削刃上軸向分力  $F_{A3}$ 、徑向分力  $F_{R3}$  及主切削力  $F_{M3}$  之分佈圖。

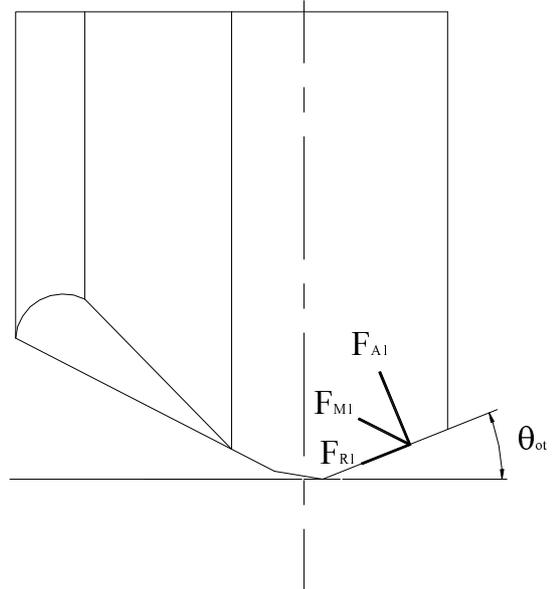


圖二 槍鑽磨耗後之刀刀幾何切削角度

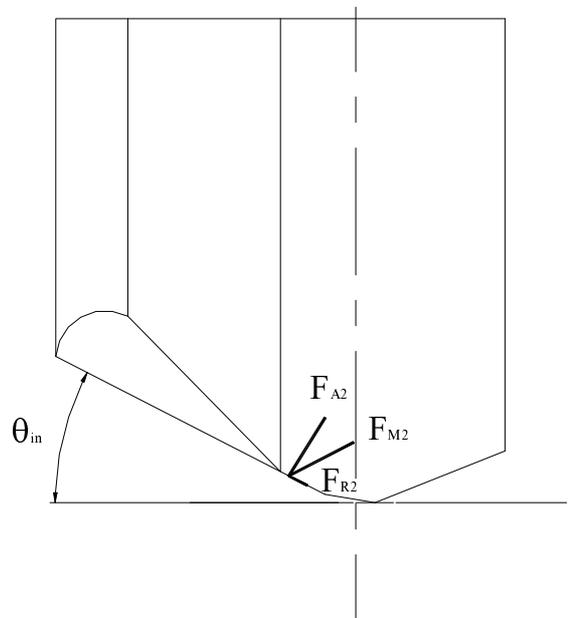
以圖三、四、五進行外、內切削刃及磨耗刀刃與刀具三軸靜態座標轉換，刀具三軸靜態座標切削力  $F'_R$ 、 $F'_A$ 、 $F'_M$  由下列矩陣表示：

$$\begin{bmatrix} F'_R \\ F'_A \\ F'_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{ot} & \sin \theta_{ot} & 0 \\ -\sin \theta_{ot} & \cos \theta_{ot} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{R1} \\ F_{A1} \\ F_{M1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} -\cos \theta_{in} & -\sin \theta_{in} & 0 \\ -\sin \theta_{in} & \cos \theta_{in} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{R2} \\ F_{A2} \\ F_{M2} \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} -\cos \theta_{wr} & -\sin \theta_{wr} & 0 \\ -\sin \theta_{wr} & \cos \theta_{wr} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{R3} \\ F_{A3} \\ F_{M3} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

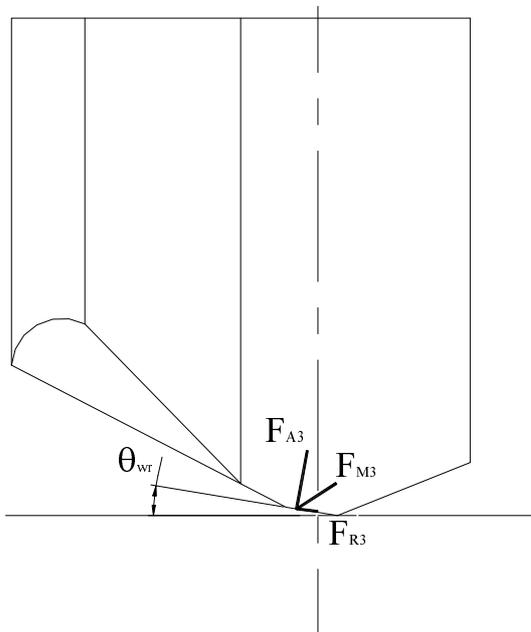


圖三 槍鑽磨耗後外切削刃之三軸分力



圖四 槍鑽磨耗後內切削刃之三軸分力





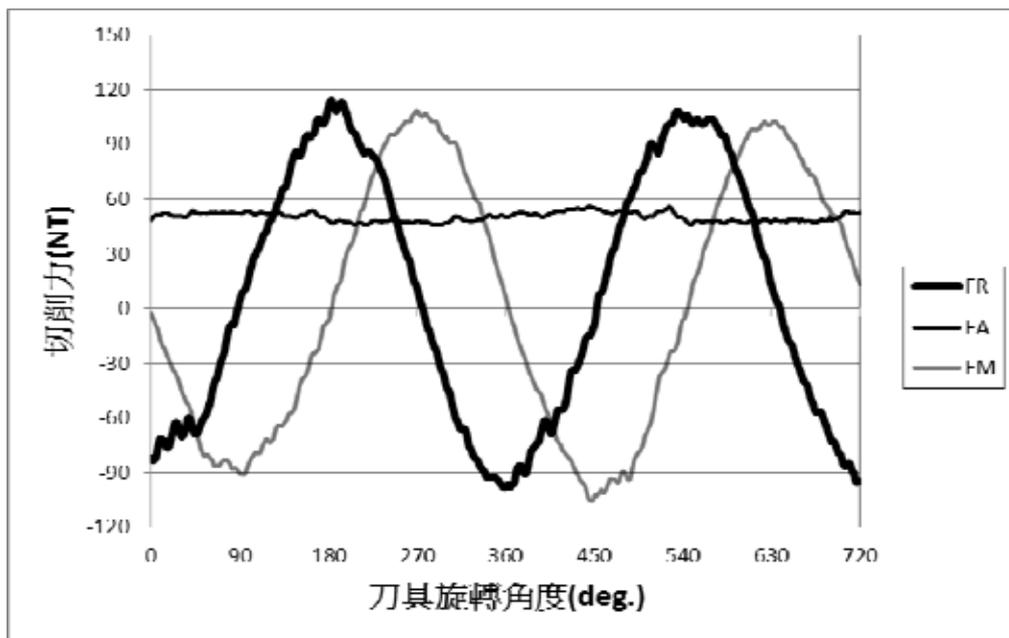
圖五 鎗鑽磨耗後新切削刃之三軸分力

若鎗鑽刀具旋轉時之瞬時角度為  $\Omega$ ，則刀具旋轉時之三軸切削力，徑向切削力  $F_R$ 、軸向切削力  $F_A$  及主切削力  $F_M$ ，可表示為下列矩陣式：

$$\begin{bmatrix} F_R \\ F_A \\ F_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & 0 & -\sin \Omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Omega & 0 & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_R' \\ F_A' \\ F_M' \end{bmatrix} \quad (2)$$

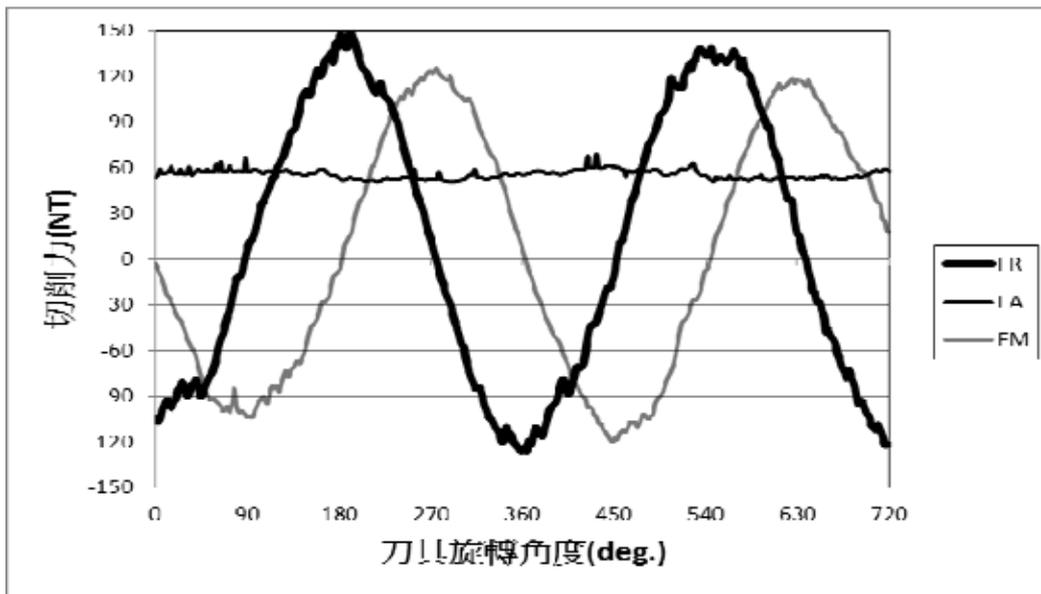
#### 4. 實驗與討論

圖六為以未磨耗之 HSS 鎗鑽切削刀具(刀具半徑為 8mm、進給率 24mm/min、轉速 2100rpm)切削 1045 中碳鋼之三軸向切削力實驗值，其中徑向切削力  $F_R$  與主切削力  $F_M$  在 360 度之切削過程中，切削力約維持於座標軸正負 120NT 範圍內變化，而軸向切削力  $F_A$  則約 47~53NT 間定值範圍內。若刀具產生磨耗後，將磨耗刀具以相同切削條件進行切削，切削結果如圖七所示，因為刀刃磨耗後鎗鑽之切削刃形成內、外兩切削刃及中間磨耗刃所合成之切削效果，在三刀刃同時切削狀況下，造成徑向切削力  $F_R$ 、軸向切削力  $F_A$  及主切削力  $F_M$  均產生顫震及突波之不穩現象。其中徑向切削力  $F_R$  與主切削力  $F_M$  在 360 度之



圖六 以未磨耗之 HSS 鎗鑽切削刀具(刀具半徑為 8mm、進給率 24mm/min、轉速 2100rpm)切削 1045 中碳鋼之三軸向切削力實驗值





圖七 以磨耗之 HSS 槍鑽切削刀具(刀具半徑為 8mm、進給率 24mm/min、轉速 2100rpm) 切削 1045 中碳鋼之三軸向切削力實驗值

切削過程中切削力增加約 25%，大約於座標軸正負 150NT 範圍內變化，但由於中間磨耗刀角  $\theta_{wr}$  之影響，座標軸正向切削力略微增大。軸向切削力  $F_A$  則約提升至 60NT，且產生明顯切削力突波，主要是因為中間磨耗刀產生切削及擠壓工件材料不順之影響。

## 5. 結論

由本磨耗刀具之幾何模型與切削實驗可推斷，槍鑽於磨耗狀態下切削時，外切削刀、內切削刀與中間磨耗刀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，造成切削力明顯增加且產生切削力顫震及突波之不穩現象。

本研究所建立之三維切削模型，定義各項切削參數，將槍鑽磨耗後之切削分為內、外兩切削刀與中間磨耗刀所合成之切削效果，同時分析三切刀上徑向切削力  $F_R$ 、軸向切削力  $F_A$  及主切削力  $F_M$  之分力結構，配合實際切削力實驗之數值輔助，可推斷及分析刀具磨耗後之切削力增加及突波變化之現象。

## 6. 參考文獻

1. A. Katsuki, H. Onikura, H.K. Sakuma, T. and Chen, Y. Murakami, "The influence of workpiece geometry on axial hole deviation in deep-hole drilling", *JSME International Journal* Vol.35, pp.160-167, 1992.
2. Z. M. Wang, E. O. and Ezugwu, D. Su, "Advances in the precision machining of small deep holes", *Journal of Materials*



- Processing Technology*, Vol.68, pp.257-261, 1997.
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*, Vol.42, pp.1135-1144, 2002.
  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*, Vol.42, pp. 1145-1152, 2002.
  5. Ming-Fang Hua, “Analysis of factors influencing deep hole drilling”, University of Wisconsin--Madison, 1984.
  6. Wei Zhang, Fengbao He and Dilin Xiong, “Gundrill life improvement for deep-hole drilling on manganese steel”, *International Journal of Machine Tools*, Vo.144, pp.327-331, 2004.

