

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

微鑽頭之精密加工研究(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-002-040-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：楊宏智

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 2 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

微鑽頭之精密加工研究(1/2)

計畫編號：NSC 91-2212-E-002-040

執行期限：91 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：楊宏智 教授 國立台灣大學機械工程研究

所

一、中文摘要

台灣 IC 工業及電子業在世界舞台已漸露鋒芒，為保持這項優勢，則迫切需要機械工業往精密化、微細化的研發方向密切配合。印刷電路板(Printed Circuit Board)產業所大量需求的微型鑽頭(Microdrills)也需要微小化，以提昇其鑽孔效果並增長其使用壽命。現行微鑽頭產品製程上主要有切溝砂輪截面外型判斷不易以及鑽頭成品切刃品質不佳這兩個明顯的問題。針對此兩問題若能提出有效解決方式，對微鑽頭精密加工產業的發展將有立即效益。

本研究提出一套微鑽頭切溝砂輪截面外型計算模組，並針對碳化鎢材料鑽頭進行奈米延性加工研究，除了克服現行微鑽頭產業製程問題外，還可將電腦輔助設計/製造的模組應用至相關機械產業；另外本計劃逐步將建立各類材料之奈米延性加工資料庫，提昇國內奈米加工研究能量。

關鍵詞：微鑽頭，精密加工，電腦輔助設計製造，延性加工，奈米加工

Abstract

The IC and electronic industries in Taiwan

have taken a key role on the world-wide arena. To keep this leading edge, it is essential to receive support from the Mechanical counterpart, which can intimately work together towards the development of new products with higher precision on a smaller scale. The PCB industry, for example, has great demand on microdrills that provide quality holes while maintain reasonably good tool life. Improvement on the design and manufacturing of the microdrill can thus bring immediate benefits to the Industry. The nature of the microdrill machining is on the nano-scale. Implementation of the project will assist the expansion of BDT machining database to other engineering materials, and hence promote the research capacity on nano-machining in Taiwan.

Key words: microdrills, precision machining, CAD/CAM, nano-technology

二、研究目的

本計劃涵括理論與設計/製造關鍵技術實務之整合目標，全程規劃以兩年分階段推動各分項研究。第一階段將以 VC++ 語言程式配合 MATLAB 數值分析軟體以及 CATIA 繪圖軟體建立一微鑽頭切溝砂輪截面外型計算模組進行切溝砂輪截面外型

計算及驗證，並依本計算模組提出鑽尖之幾何最佳化並以實驗加以實驗驗證；第二階段依據矽晶圓奈米延性加工研究針對碳化鎢材料鑽頭進行奈米延性加工研究，控制其切削參數以尋找表面性質急劇變化之區域，是為脆延性轉換區(Brittle-Ductile Transition Region, BDT)，並研究整理臨界切深、臨界移除量與脆延性加工表面性質之間的關聯性，以作為製程加工參數設定之依據，俾使微鑽頭產品表面性質提昇，進而成功提昇鑽尖切刃品質，增進微鑽頭鑽削效能，並以提昇其使用壽命為研發目標。

三、文獻探討

A. 鑽頭幾何分析與鑽削力預測模式

Shaw[1]首先開始應用二維切削觀念及因次分析法來模擬鑽削過程，並以動力計量測鑽削力，且提出鑽削力之半經驗公式。發現鑽腹厚度是影響鑽削力最大的因素，且螺旋角(helix angle)對鑽削力的影響很小。Alloway[2]接著對鑽刀幾何、壽命、自激式振動等，提出詳盡而完整的分析，當鑽頂角為118度時，主切刀最接近直線，若為其他角度，則主切刀會成彎曲成曲線。

在理論分析的模型建立方面，Bera[3]考慮橫刃處擠壓作用之影響，將橫刃視作鑿器(Punch)，利用塑性滑移線場法分析得橫刃區軸向力約佔總軸向力之一半。Williams[4]將鑽刀分成數個單元，每一單元視為正切削(Orthogonal cutting)，橫刃視為鑿擠與正切削並存，且推導出鑽削推力與扭力數學模式，由於二維正切削模式與實際三維斜切削模式有所不同，故理論與實際仍有不少的誤差。為有效銜接理論模型與實際的差距，Wiriyacosol 與 Amarego[5]開始將主切刀視為斜交切削，再配合正切削的經驗式，有效提昇鑽削力預測之準確度。

在鑽尖電腦輔助設計與分析方面，Ogawa [6]在麻花鑽的鑽唇上故意刻上幾條凹痕，使切屑變短薄，易於排出，並降低鑽削扭力。Xiong, Shi[7]以平面投影法定義出鑽尖各角度及鑽尖面幾何方程式，並輔以幾何分析提出最佳鑽刀曲線形狀。王德修進一步修正 Amarego 的鑽尖幾何模式，

建立一電腦輔助鑽頭研磨系統[8]。在本項研究領域上，陳祝三[9]引用 Amarego 等人理論，結合斜交與正交切削及鑿擠將鑽尖分成 A、B、C 三區，過渡點之進給速率為旋轉速率的 20%，鑽削力預測結果與實驗值頗為一致。整合上述研究後，Stephenson[10]針對各種不同形狀之鑽尖提出力預測模式，並針對造成 Wondering Motion 之 Radical Force 作一理論推導，只要鑽頭稍有不對稱，就會有徑向力產生，造成鑽孔外形呈現橢圓形。Salama[11]以鑽削過程中向下之 feed velocity 修正 Amarego 等人提出之鑽尖幾何角及鑽削力預測模式，並發現，此動態因素對鑽腹區的切削力預測影響很大，不可忽視。

B. 奈米延性加工

1989 年，Puttick[14]等人，以微硬度壓痕實驗，證明了脆性材料之延性加工臨界切深可以一理論模式預測。同時期，Lawn[15]等人整理出多年來的研究，提出了新的臨界切深預測模式。

之後，Bifano[16]提出延性加工機 PEGASUS(Precision Engineering Grinding Apparatus for Super-finishing Ultra-hard Surfaces) 解析度可達 2nm，PZT 行程共 10 μm 並以該機器實驗結果修正 Lawn 提出之理論公式，除了 Bifano 之 PEGASUS，吳東權博士[17.18.19]所使用的傾斜面加工法可以清楚明顯的觀察出延脆性破壞轉換過程，且無須應用解析度極小的 PZT 機密平台。

近期，謝慕白[12]以精密車削加工實驗進行延性加工研究，並以理論公式驗證實驗結果，成功整理出矽晶圓表面性質與延性加工參數的關聯性。Ngoi 與 Sreejith[13]整理現代延性加工資料，針對延性加工原理，在車削、輪磨、不同加工方式之應用，做了相當詳細的說明。

四、研究方法

本研究第一階段在利用電腦輔助工程分析建立鑽尖最佳化製程模式。首先將利用 CAD 實體模型工具，以平面標準鑽尖幾何圖形投影至鑽尖錐角上，在此投影線上的 13 個節點座標即為切溝鑽石砂輪與鑽尖

錐面的第一接觸點，也就是加工完成時的鑽尖幾何圖形；以上述 13 個節點分別建立個別之不同相位角的 13 條螺旋線，在鑽尖高度的一半處，取螺旋線垂直截面與此 13 條螺旋線的交點座標，此即為切溝鑽石砂輪的截面圖形，可由 MATLAB 數值分析程式達成，並搭配 VC++ 語言程式介面輸入不同產品之參數；後續再結合 API 程式以 CATIA 繪圖軟體進行實體驗證，再加上實際產品實驗驗證，期能建立一套有效的微鑽頭切溝砂輪截面外型計算模組，並依本計算模組提出鑽尖之幾何最佳化並以實驗加以實驗驗證。

五、模組建立

5.1 砂輪截面計算程式開發

以 MATLAB 程式進行切溝鑽石砂輪截面計算

(1) 以標準鑽尖幾何平面節點投影至鑽尖錐面上，並取得投影點，如圖一、二。

$$t = (d/2) \times \tan(90 - \text{point}/2) -$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} / \tan(\text{point}/2)$$

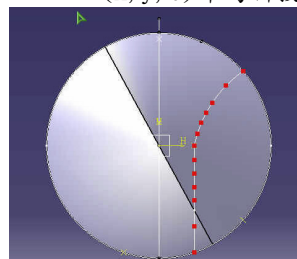
x, y 為鑽尖平面上的節點座標

point 為鑽尖角

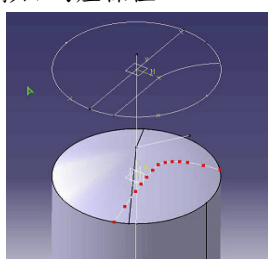
d 為鑽頭直徑

t 為投影至鑽尖錐面的節點高度值

(x, y, t) 即為新投影點的座標值



圖一



圖二

(2) 計算通過 13 個投影點的 13 條螺旋線，經過倒錐設計的螺旋線參數式為

$$x = (\text{taper}/2) * (l * a - t) * \cos(t/p + f)$$

$$y = (\text{taper}/2) * (l * a - t) * \sin(t/p + f)$$

$$z = t$$

taper 為鑽頭外徑的倒錐比 ($\Delta D/\Delta L$)

l 為座標原點到 taper cone 尖端的距離

a 為每一條螺旋線相對於蕊厚值不同大小的比例

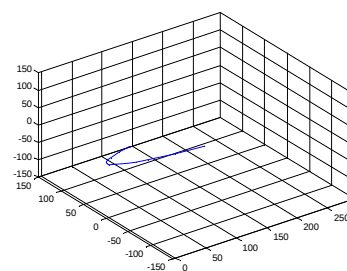
p 為螺距

f 為每一條螺旋線不同的起始相位角

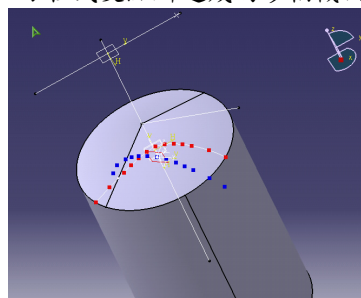
經過計算，可求出 13 條螺旋線的不同 a、f 值，以供後續計算

(3) 在中間點高度一半處 $tp = t((n+1)/2)/2$ ，取與

砂輪橫截面平行的平面方程式，以此平面方程式與 13 條螺旋線參數式求解以得空間上的交點座標，如圖三、四

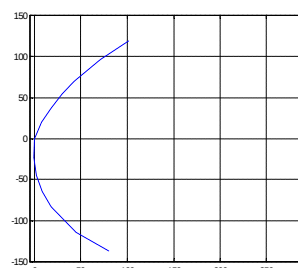


圖三. 方程式交點所連成的砂輪截面圖形



圖四. 藍色砂輪截面節點與紅色投影節點比較

(4) 將座標平面轉至藍色砂輪截面節點上，求得砂輪截面 2D 圖形，如圖五。



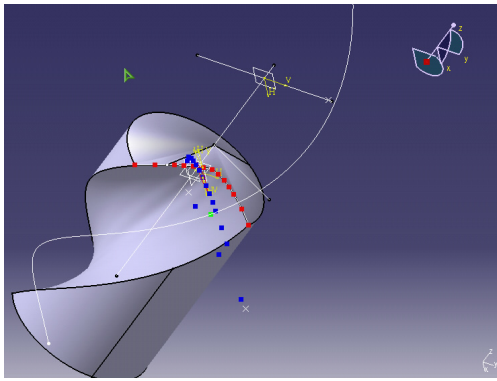
圖五. 2D 砂輪截面圖形

5.2 砂輪截面計算應用介面程式建構

在 VC++ 程式建立使用者介面，介面中可輸入所需鑽頭產品之標準鑽尖幾何平面節點數、13 個點座標值、蕊厚、鑽尖角、鑽頭直徑、螺旋角、馬達角。

5.3 實體模型線上驗證功能建構

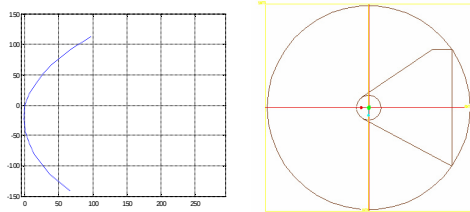
將上述砂輪截面以 CATIA 繪圖軟體實體模型切溝驗證，結果中顯示切溝成品與標準紅色節點吻合，即可確定砂輪計算模組之正確性。如圖六。



圖六. 實體模型切溝驗證

5.4 實驗驗證上述模組之正確性

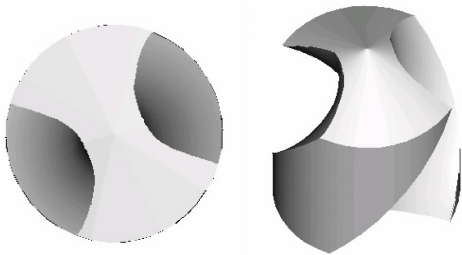
產品實驗驗證，以計算所得之砂輪截面進行砂輪修整，實地進行鑽尖加工。比較所得產品與實體模型驗證的結果，如圖七。



圖七 磨輪母線計算結果與實際製程中磨輪母線圖形之比對

5.5 最佳化鑽尖幾何

試圖以鑽尖幾何分析理論計算切削上切削斜角分布，並以幾何分析理論配合有限元素分析結果，求得此斜角最佳化分布下之鑽尖幾何圖形，如圖八。



圖八 改良型微鑽頭實體模型圖

5.6 實驗驗證最佳化鑽尖之加工品質與效率

以六種不同型態之微鑽頭分別以轉速 95(krpm)，進刀速 70(M/min)，退刀速 800(M/min)，每支鑽削五個孔。沿著孔洞中心製作切片，並將切片集中於一小容器中，灌入黏膠使其凝固，並針對孔壁處進行拋光。以顯微鏡觀察其孔壁品質，紀錄每個孔壁之粗糙度及釘頭百分比。表一為整理並比較實驗的結果。結果表示只有小

頭型與改良型鑽頭才能較穩定且有效的改善鑽孔孔壁粗糙度。

表一 鑽孔孔壁粗糙度表

	外弧	內弧	改良	大頭	小頭	標準
1	0.5	0.7	0.6	0.6	0.4	0.5
2	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5
3	0.6	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6
4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6
5	0.5	0.8	0.6	0.7	0.4	0.7
Max	0.6	0.8	0.6	0.7	0.4	0.7
Min	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5
Average	0.56	0.66	0.48	0.60	0.40	0.58
Stdv_dev	0.05	0.07	0.10	0.04	0.00	0.06
Aver+3Stdv	0.70	0.88	0.77	0.72	0.40	0.77

六、結論

本研究依製程中研磨輪母線修整問題而提出一研磨輪母線計算模組，由數學模式的建立、模組程式化、CATIA 加工模擬以至於實例驗證，完整且有系統的解決磨輪修整問題，取代以往的試誤修整法；本文數學模式之推演將使產學界對磨輪母線判斷過程有充分之掌握與瞭解，並能有效而方便的計算出研磨輪的最正確母線軌跡，加強製程效率，從而避免時間與資源的浪費。

利用研磨輪母線計算模組，配合鑽頭幾何分析，本研究得以進行鑽頂形狀改良之研究，以理論切削前角表現、ANSYS 的結構分析結果以及實際鑽孔品質檢測結果作為鑽頂形狀改良的評量指標，提出針對不同問題需求之改良方向建議，提供線上改良微鑽頭製程的參考。

七、參考文獻

- 1.M.C.Shaw & C.J.Oxford,Jr.,”On the Drilling of Metals 2-the Torque and Thrust in Drilling “Trans.ASME,Vol.179,1957.
- 2.D.F.Galloway,”Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance”Trans.ASME,Vol.179,1957.
- 3.S.Bera & A.Bhattacharyya,”On the Deter-mination of Torque and Thrust During of Ductile Materials”Proc. Of 8th Int . M.T.D.R. Conf.,1967.
- 4.R.A.Williams,”A Study of the Drilling Process”Journal of Engineering for Industry,Trans.ASME,Vol.96,1974.
- 5.S.Wiriyacosol E.J.A.Armarego,”Thrust and Torque Prediction in Drilling from a Cutting Mechanics

- Approach”Annals of the CIRP,Vol.28,1979.
- 6.M.Ogawa & K.Nakayama,”Effect of Chip Splitting Nicks in Drilling”Annals of the CIRP,Vol.34,1985.
 - 7.Xiong Liang-Shan,Shi Han-Min”A Study on Curved Edge Drills”Huazhong University, Wuhan,Hubei,China,1994.
 8. 王德修 “電腦輔助鑽頭研磨系統之設計” 中原大學機械所碩士論文, 1989.
 9. 陳祝三 “麻花鑽之鑽削力與鑽刀形狀關係之研究” 成大機研所碩士論文, 1992.
 - 10.D.A.Stephenson and J.S. Agapiou ”Calculation of Main Cutting Edge Forces and Torque for Drills with Arbitrary Point Geometries ”Int.J.Mach.Tools Manufact Vol.32.1992.
 - 11.A.S.Salama and A.H.Elsawy”The Dynamic Geometry of A Twist Drill Point”Cairo Uni-versity ,Egypt.Journal of Materials Pro-cessing Technology.1996.
 12. 謝慕白, “精密車削矽晶圓表面與次表面分析研究” 國防大學中正理工兵器系統工程所碩士論文, 2000.
 - 13.B.K.A. Ngoi P.S.Sreejith “Ductile Regime Finish Machining”, Nanyang Technological University,Singapore,2000.
 - 14.Puttick,K.E.,Rudman,M.R.,Smith,Franks,A.and Lindsey,K.,”Single-Point Diamond Machin-ng of Glasses”,Proc,Royal Soc.A. 426,pp19-30,1989.
 - 15.T.G.Bifano, T.A.Dow, R.O. Scattergood ”Ductile-Regime Grinding:A New Technology for Machining Brittle Materials” ,Journal of Eengineering for Industry,1991.
 - 16.Marshall,D.B.,and Lawn,B.R.,”Indentation of Brittle Materials ”Microindentation Tech. In Materials Science and engineering .ASTM STP 889.1986.
 - 17.Tung-Chuan Wu ,Noboru Morita and Yoshitaro Yoshida ”Study on Grinding of Single-Crystalline Silicon(1st report,The Effect of Grinding surface by a Truncated Wheel)”日本機械學會論文集(C 編) 58 卷 546 號(1992-2).
 - 18.Tung-Chuan Wu ,Noboru Morita and Yoshitaro Yoshida ”Study on Grinding of Single-Crystalline Silicon(2nd report,The Effect of Temperature and Load Rate on Brittle-Ductile Transition)”日本機械學會論文集(C 編) 58 卷 555 號(1992-11).
 - 19.Tung-Chuan.Wu ,Noboru Morita and Yoshitaro Yoshida ”Study on Diamond Cutting of Silicon Single Crystal(1st report,The Effect of Brittle-Ductile Transition on Surface Integrity)”日本機械學會論文集(C 編)59 卷 557 號(1993-1).

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ 成果報告 ☐ 期

中進度
報告

微鑽頭之精密加工研究

計畫類別：※ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2212-E-002-040

執行期間： 91 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：楊宏智 教授 國立台灣大學機械工程研究所
共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：※ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學機械工程研究所

中 華 民 國 92 年 5 月 30
日