

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

考慮切削動態及路徑軌跡交互作用之輪廓精度

Contour Accuracy in view of Interaction between Dynamic
of Cutting and Path Tracking

計畫類別：C 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2122 - E - 009 - 083

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：秦繼華

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

執行單位：國立交通大學機械工程學系

中 華 民 國 90 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

考慮切削動態及路徑軌跡交互作用之輪廓精度

Contour Accuracy in view of Interaction between Dynamic of Cutting and Path Tracking

計畫編號：NSC 89 - 2122 - E - 009 - 083

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：秦繼華 教授 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

在切削過程中，切削力除了用在移除不必要的工件外，也是造成刀具撓曲的主要因素。但是在現今的研究中，大多數都忽略了考慮進給的變化，而將其當做無軌跡誤差的加工。但在實際進行切削的時候，軌跡誤差會佔有一定的影響，使得銑刀進給的位置產生變化，也就跟著使切削力改變，並導致切削過程中的主軸變形和工件撓曲惡化。而進給的控制技術在經過比較之後，發現交叉耦合預補償法可以將輪廓誤差降到最低，所以選擇此為進給的控制法。因此本計劃就是著重在將切削和進給綜合考慮，來探討其交互作用時對輪廓精度和表面精度所造成的影響。

關鍵詞：切削力、表面精度、軌跡誤差、交叉耦合預補償法

Abstract

In cutting process, cutting force is not only to remove unnecessary workpiece but also the main cause of the tool's deflection. And most researches neglect the feed's variation and treat as no contour error in cutting process. But it certain to have effect in cutting and make the relative distance between spindle and workpiece and then reduce the contour accuracy because the cutting force is changed. After comparing the control algorithm in feed, we choose the cross-coupled precompensation method to our control technology because it is the best method to reduce the contour error. So the project emphasizes that it combines cutting and feed into a comprehensive one and confer the interaction effect to the contour accuracy and surface accuracy.

Keywords: cutting force、surface accuracy、contour error、cross-couple precompensation method (CCPM)

二、緣由與目的

在傳統的工業裡，銑削是很常用來切削的一種技術。藉由主軸旋轉和基座移動來做出想要的工件形狀。但是隨著技術進步和精度要求的提高，所需要考慮的加工條件也得跟著增加。由於可將整個切削過程分為兩部分來看，一是進給系統，另一方面則是加工系統。但是之前大多數的研究都專注在加工方面，而顯少提到在進給方面輪廓誤差的影響。因此本計劃的目的就是要將進給的影響給納入考慮，進而了解在真實切削的交互作用情形。

在切削方面的研究，較具代表性的是由 DeVor et al [1,2] 推導完整的切削力系統數學公式，包含切屑厚度的計算和刀具中心的偏移。J. Tlustý [3,4,5] 提出 stability lobe 的觀念於切削狀況中，並且建立了各別模型來概括完整的切削過程。Bayoumi and Yucesan [6] 則對於銑削提出了一套切削力數學模式。Budak and Altintas [7,8] 模擬了撓性刀具和撓性工件的切削加工情形。但是在這些研究當中，卻很少提到其實軌跡誤差在整個切削過程中也佔有很重要的一部份。因為進行切削的時候，軌跡誤差最大可達到 40um，對於刀具位置改變和切削力計算有著一定的影響。所以為了要使整體的理論架構更加完備，就必須要結合切削系統和進給系統來考慮。

至於進給的技術，Koren [9,10] 提出交叉耦合控制 (Cross-Coupled)。為一對稱結構，加上兩個 DDA 積分器，使它異於之

前各軸獨立的控制方法，特色是可以協調各軸做路徑補償。Chin and Tsai [11] 另提出一種新的軌跡控制法，主要是在原速度規劃中加入法向速度參數，稱為路徑預補償法 (Path precompensation Method)。接著 Chin and Lin [12] 結合交叉耦合控制和路徑預補償法成為交叉耦合預補償法 (Cross-Coupled Precompensation Method)，比起之前的其他控制方法，在降低直線和圓弧的輪廓誤差上，更能凸顯出它的優越性。Chin and Lin [13] 將一般的參數曲線轉換成時間猜參數之路徑規劃，並配合交叉耦合預補償法追蹤漸開型渦卷線，其效果遠超過傳統方法，並為交叉耦合開起啟了一般化的大門。

三、研究方法

圖 1 為本計畫探討的主要系統架構圖，其中包含本研究室發展的交叉耦合預補償系統 (CCPM)、切削力模型及工具機結構模型。在計劃中運用一套可預測螺旋端銑刀動態切削力的數學模型，來建立端銑刀切削過程三軸向的切削力數學模型。在切削過程中切削力是主要造成工具機振動的因素，也是產生誤差值的來源之一，因此在實驗中為了能更精準掌控路徑誤差值，將分別針對由工具機主軸所產生的位移值及切削力在工具機床台進給運動的影響，由兩者之間找出主要影響路徑誤差的來源並加以補償。

在加工過程，工具機各軸因連續切削運動而隨時間改變，因此工具機的結構也持續改變。但是為了簡化計算工具機結構動態的複雜性，在本研究中將假設動態結構參數為常數。

求得工具機的轉移函數後，將所得的切削力輸入工具機的轉移函數，將可求得工具機的位移值，結合 CCPM 軌跡誤差值及工具機位移值重新計算軌跡誤差值再做補償，而產生的總誤差值也重新計算瞬時剪切面積，因此切削力將會隨之變化。

結合整個切削模擬系統後，輸入切削參數 (切削寬度、進給速度、主軸轉速) 於電腦模擬中，則可模擬加工情形及工件的輪廓以控制產品的精密度，或是由電腦模擬中找出最佳的切削參數，以節省加工

時間進而節少加工成本。

四、結果與討論

在計劃中為了驗證圖 1 系統架構圖的可行性，因此實際切削以驗證切削力模型的準確性，圖 2、3 為 X、Y 軸方向切削力的預測。由圖中可得知切削力模型可預測真實切削力。

將切削力模型求得的切削力輸入工具機的轉移函數則可得知切削力對工具機的位移值，圖 4、5 為切削力輸入工具機轉移函數後的位移值。結合 CCPM 軌跡誤差值與切削力造成位移值進行路徑補償則可得到重新計算的誤差值因此補償後的速度將影響切削力，因此圖 6、7 為 X、Y 軸補償後切削力與未補償切削力之比較。

圖 8 為運用圖 1 系統架構圖模擬 45° 直線切削後路徑追蹤軌跡，由圖中可得知切削力對真實切削系統的軌跡誤差影響，在模擬系統中可進一步預測真實軌跡誤差並達到更精確的軌跡控制。圖 9 比較純路徑追蹤的軌跡誤差與考慮切削力下的軌跡誤差。

五、參考文獻

1. J. W. Sutherland and R. E. DeVor, "An Improved Method for Cutting Force and Surface Error Prediction in Flexible End Milling Systems," *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 108, 1986, pp. 269-279.
2. S. C. Lin, R. E. DeVor and S. G. Kapoor, "The Effects of Variable Speed Cutting on Vibration Control in Face Milling," *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 112, 1990, pp. 1-11. (3)
3. J. Tlustý, W. Zaton and F. Ismail, "Stability Lobes in Milling," *Annals of the CIRP*, Vol. 32, 1983, pp.309-313.
4. J. Tlustý, S. Smith and W. R. Winfough, "Techniques for the Use of Long Slender

End Mills in High-speed Milling," Annals of the CIRP, Vol. 45, 1996, pp.393-396.

5. S. Smith and J. Tlustý, "An Overview of Modeling and Simulation of the Milling Process," Journal of Engineering for Industry, Vol. 113, 1991, pp.169-175.

6. A. E. Bayoumi, G. Yucesan and L. A. Kendall, "An Analytic Mechanistic Cutting Force Model for Milling Operations: A Theory and Methodology," Transactions of ASME, vol. 116, 1994, pp. 324-330.

7. Erhan Budak and Yusuf Altintas, "Modeling and Avoidance of Static from Errors in Peripheral Milling of Plates," Int. J. Mach. Tools Manufacture. Vol. 35, No. 3, 1995, pp. 459-476.

8. Erhan Budak and Yusuf Altintas, "Peripheral Milling Conditions for Improved Dimensional Accuracy," Int. J. Mach. Tools Manufacture. Vol. 34, No. 7, 1994, pp. 907-918.

9. Y. Koren, "Design of Computer Control for Manufacturing Systems", Transactions of the ASME," Vol. 101, 1979, pp.326-331.

10. Y. Koren, "Cross-Coupled Biaxial Computer Control for Manufacturing Systems," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.102, 1980, pp.265-271.

11. Jih-Hua Chin and Her-Chyi Tsai, "A Path Algorithm for Robotic Maching," Computer-Integrated Manufacturing, Vol.10, No. 3, 1993, pp.185-198.

12. Jih-Hua Chin and Tsung-Ching Lin, "Cross-Coupled Precompensation Method for the Contouring Accuracy of Computer Numerically Controlled

Machine Tools," Int. J. Mach. Tools Manufacture. Vol. 37, No. 7, 1997, pp.947-967.

13. Jih-Hua Chin and Hu-Wai Lin, "The Algorithms of the Cross-Coupled Precompensation Method for Generating the involute-Type Scrolls," Transactions of the ASME, Vol. 121,1999, pp.96-104.

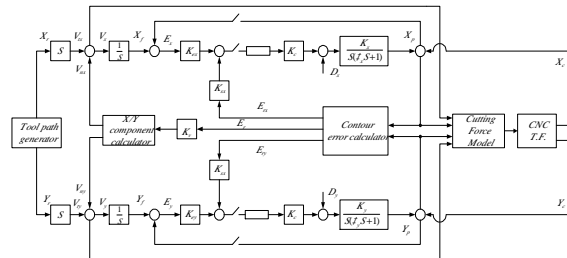


圖 1 系統架構圖

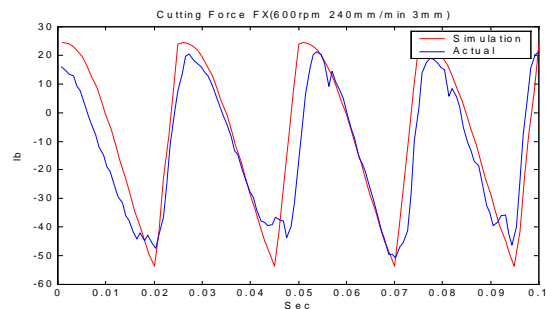


圖 2 X 軸方向切削力預測

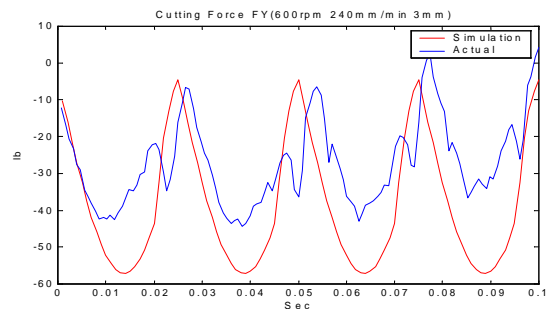


圖 3 Y 軸方向切削力預測

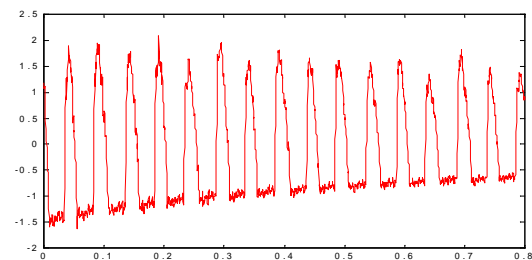


圖 4 切削力在 X 軸方向位移值

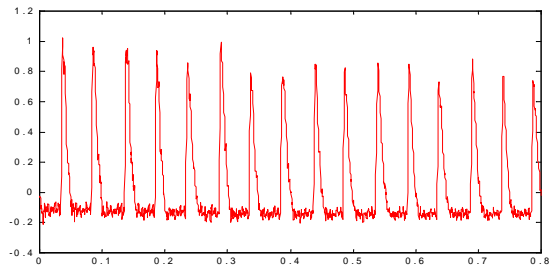


圖 5 切削力在 Y 軸方向位移植

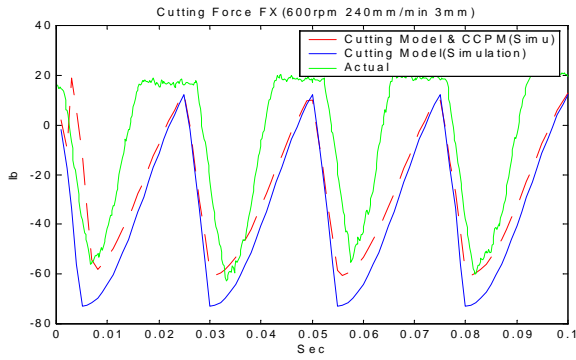


圖 6 X 軸方向切削力之比較

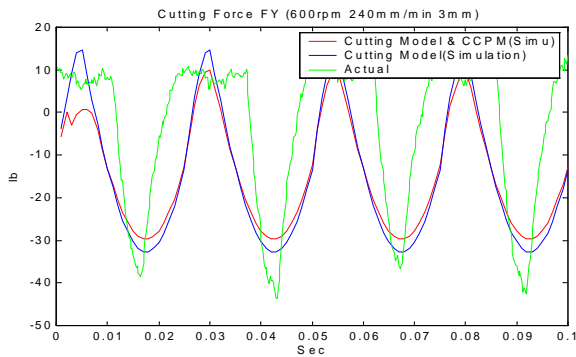


圖 7 Y 軸方向切削力之比較

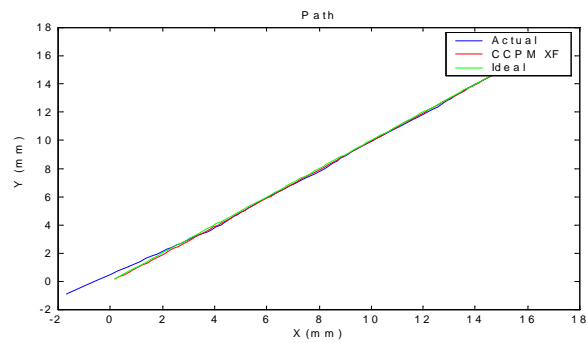


圖 8 考慮切削力下的路徑追蹤

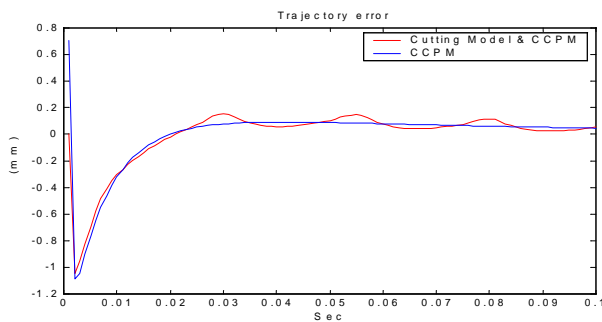


圖 9 切削力軌跡誤差圖