



# 單點鑽石超精密車削碳化鎢之研究

## A Study of Single Point Diamond Turning of Tungsten Carbide

<sup>1</sup> 廖伶怡 / <sup>2</sup> 廖運炫

<sup>1</sup> 國立台灣大學 機械工程學研究所碩士班 研究生

<sup>2</sup> 國立台灣大學 機械工程學系 教授

**摘要：**本研究主要是探討兩種單晶鑽石刀具超精密車削不同鈷含量之碳化鎢材料的加工特性，以及採用最少量潤滑(minimum quantity lubrication, MQL)的切削液供給方式，配合液體及氣體切削液的使用，來輔助加工碳化鎢。研究結果顯示，於刀具幾何形狀的選擇，採用負傾角 20 度之刀具切削碳化鎢材料相較於負傾角 25 度之刀具有較佳的刀具壽命及表面粗糙度。於切削液輔助加工的部分，發現以油霧方式加工碳化鎢，無法有效排除切屑，刀具會產生顯著的磨耗，這是因為切削液藉著高壓空氣進入切削區，會在刀具及工件表面形成油膜，使切屑容易黏附其上，導致刀具大量耗損。以水溶性切削液加工碳化鎢，則因成分中有水存在，易使切削刃邊(cutting edge)產生微崩落(micro chipping)的情況，不適用於碳化鎢的加工。以乾切削加工，可獲得較液體切削液使用下較佳之刀具壽命，但在切削刃邊會產生磨耗不均勻的輪廓，使加工表面惡化，粗糙度增加。以高壓空氣輔助加工，可促使氣體易於滲透至切削區，並具有排除切屑的效果，刀具壽命可提升約 14%，表面粗糙度可降低約 57%。採用約 0°C 的低溫空氣輔助加工碳化鎢，可以減緩材料內鈷元素的催化作用，避免鑽石石墨化的結果，獲得最佳的刀具壽命與表面粗糙度，刀具沒有產生磨耗，且加工 WC-1%Co 及 WC-13%Co 可達約 2 nm  $R_a$  及 4 nm  $R_a$  的工件表面粗糙度。

**Abstract :** Machining characteristics of single point diamond turning (SPDT) for different cobalt contents tungsten carbide with various rake angle tools are discussed. Conditions under dry cutting, minimum quantity lubrication (MQL) with various cutting fluids, and compressed air were studied. Wear and morphology of the cutting tool and roughness of the machined surface were taken into consideration for performance assessment. Experimental result shows that turning tool with  $-20^\circ$  rake angle performs better than that of  $-25^\circ$  rake angle tool. Apparent tool wear is observed in the application of oil mist due to permeation of the mineral oil into cutting region with the aid of compressed air. Therefore, an oil film is formed on the surface of tool and workpiece which causes the chips to adhere to the machined surface. These chips in turn abrade the tool and lead to severe tool wear. MQL with water miscible emulsion improves chip disposal, but micro-chipping of the cutting edge takes places. Comparatively, there is less tool wear under dry cutting condition than MQL. Nonetheless, the machined surface is deteriorated due to uneven wear of the cutting edge. Application of the pressurized air without any cutting liquid promotes air penetration and chip flushing. Compared with condition under dry cutting, for turning WC-1%Co



the tool life is increased and surface roughness is decreased by 14% and 57% respectively. The use of the compressed air of about zero degrees Celsius is then proposed. It is verified that there is rarely any wear since graphitization of the diamond tool which is catalyzed by cobalt in tungsten carbide can be effectively retarded. Mirror surfaces with surface roughness in  $R_a$  of 2 nm for cutting WC-1%Co and 4 nm for cutting WC-13%Co are successfully achieved.

**關鍵詞：**單點鑽石車削、碳化鎢、刀具磨耗、表面粗糙度

**Keywords :** Single Point Diamond Turning, Tungsten Carbide, Tool Wear, Surface Roughness

## 前言

隨科技進步，各產業之產品有朝輕量化、微小化、高機性能發展之趨勢，產品微小化使更具市場競爭力，因此，對於生產微小元件與模組之模具的需求與日俱增，精微形狀加工技術 (micro-machining) 也受到矚目，其中，超精密加工技術 (ultra precision machining) 便是常用的一加工技術。

超精密加工技術從 1980 年後逐漸興起，主要應用於微結構元件加工，如光電、微機電、通訊、生醫、奈米等高科技產業的產品。採用超精密加工其形狀精度可達次微米等級且具鏡面等級的加工表面，可製造高深寬比的立體結構且製程簡單，大幅縮短加工時間；菲涅爾 (Fresnel) 透鏡的加工技術於 1985 年建立，隨著液晶面板的發展，超精密加工逐漸擴展至如導光板模仁的 V 溝加工，以至於繞射元件的模仁加工，將超精密加工的微結構尺寸推進至 0.1  $\mu\text{m}$  的範圍內。

碳化鎢為超硬合金材料中的一種，材料優越性質眾所周知，在精密工業中常用於玻璃元件之模具的製造，但因加工困難，容易導致刀具嚴重磨耗，目前仍是採用研磨加工為主，隨著技術發展，對於高精度及複雜化的微模具製造需求，以研磨加工較難滿足對光學表面或複雜曲面等加工的要求，或需附帶難度甚高的拋光製程，因此本研究期望能以鑽石刀具切削加工完成。

碳化鎢材料因具有極高硬度及耐磨削等優越的材料特性，被歸類為難切削材料，在切削加工上

的主要難題，除了有材料的高機械強度容易對刀具造成嚴重的機械式磨耗外，材料內鈷元素對於鑽石石墨化的催化作用，同時也會導致大量化學性磨耗的問題。

於刀具幾何形狀方面，Almeida 等人[1]在所設定的加工參數下分別以單刃、導角、圓角的 CVD 刀具切削碳化鎢，結果顯示越鈍的刀具，切削力越高，並有鍍層剝落或切削刃邊破壞的情況；在加工面粗度的部分，雖然導角刀具產生的切削力比單刃刀具高，卻有最低的加工面粗度，作者們認為是切削溫度上升，使材料塑性增加，提供切屑形成所需能量所致。

於切削液添加方面，有相關研究指出，刀具化學磨耗速率會隨著切削環境而呈顯著差異，添加特定的氣體可抑制反應的發生[2, 3]，因此提供鑽石切削碳化鎢時添加切削液之相關文獻。

2008 年 Heo[4]以 PCD 刀具在切速為 15 m/min，進給為 0.1 mm/rev. 及切深為 0.1 mm 條件下，探討乾、濕及油霧 (mist) 三種切削液的供給方式對刀具壽命與表面光度的影響。依據結果指出，碳化鎢材料中鈷含量越低，以濕或油霧方式輔助較具改善刀具壽命成效，而粗糙度的部分，則以濕切削最佳，其次為油霧切削。

2009 年 Yui 等人[5]探討不同氣體環境 (空氣、氮氣與氫氣) 與五種切削液對於單晶鑽石刀具加工兩種碳化鎢 (WC-0%Co、WC-7%Co) 的影響，並藉由摩擦試驗及切削試驗探討切削液的作用。結果發現

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】414期・106年9月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)