



碳化鎢內孔粗車刀斷屑槽設計及切削中碳鋼 之切削力研究

張充鑫¹ 陳大智¹ 黃宜倫² 江兆庭²

1. 國立宜蘭大學機械與機電工程學系(所)教授
2. 國立宜蘭大學機械與機電工程學系(所)研究生

摘要

本文目的在探討及發展出一套具有階梯式斷屑槽的內孔粗車刀，並且與沒有斷屑槽之內孔粗車刀進行切削中碳鋼的切削力比較。研究過程中首先設計並研磨出具斜角斷屑槽的內孔粗車刀，其中斜角斷屑槽的設計含有二種斷屑槽斜角角度，配合五種斷屑槽寬度共十種組合，與無斷屑槽設計的內孔粗車刀作切削性比較。實驗中以切削動力計測量出內孔粗車刀切削中碳鋼時，在不同進給率和不同切削深度下的三維切削力。另外針對不同斷屑槽斜角角度與不同斷屑槽寬度設計的刀具做切削力探討，整理出不同的進給率和不同切削深度下的切削力做分析，並與切屑型態做綜合比較，從中探討出較佳之刀具幾何形狀與加工條件，以降低切削力，並達到較佳的加工效果。實驗結果顯示斷屑槽寬度在 1.0 - 3.0mm 範圍時，切削力隨著斷屑槽寬度增加而降低，但在 1.5mm 以上之後變化不大。進給率在 0.42mm/rev 以下時，斷屑槽斜角角度為 25°之內孔車刀的切削力表現優於斷屑槽斜角角度為 20°之內孔車刀。

關鍵字：內孔車刀、斷屑槽、切削力、切屑型態。

***通訊作者 E-mail：** cschang@niu.edu.tw



A Study on Chip Breaker Design of Tungsten Carbide Inside-hole Rough Turning Tools of The Cutting Force of Turning Medium Carbon Steel

Chung-Shin Chang¹ Da-Chih Chen¹ Yi-Lun Huang² Zhao-Ting Jiang²

1. Professor, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Ilan University
2. Graduate Student, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Ilan University

Abstract

A study of cutting forces in turning medium carbon steels by using an inner hole turning tools with chip breaker are well studied. The cutting forces of turning medium carbon steel by inner hole turning tools with different feed rates and different cutting depths are measured by dynamometer. Those inner hole turning tools had chip breaker with different chip breaker rake angles associated with different chip breaker widths. The results show the cutting forces by the inner hole turning tools with chip breaker are less than the inner hole turning tool without chip breaker. The cutting forces decrease with the chip breaker width increase within 1~3mm, but this effect was not obviously when chip breaker width larger than 1.5 mm. Even the feed rate lower than 0.42mm/rev, the cutting force for the inner hole turning tool with 25° rake angle is less than the cutting force for the inner hole turning tool with 20° rake angle.

Keywords: Inner Hole Turning Tools, Chip Breaker, Cutting Force, Chip Type

***Corresponding author E-mail:** cschang@niu.edu.tw

一、前言

1-1 序論

車床乃工具母機之始，直到現在還有很多新式的工具機設計，仍然以車床為主，尤其在金屬加工中車削在整體製造過程中仍扮演著很重要的角色。在車削加工中，內孔車削往往比外徑車削來得困難，主要原因除了操作人員不容易觀察到車削加工時的切削狀況外，切屑排除不易也是一大問題，此時斷屑槽的設計就重要了許多。因此內孔車刀各刀刀角度和斷屑槽的設計與製造是否良好，切削深度與進給率是否適當，都是影響內孔車削的重要因素。而在一般金屬材料中，因為中碳鋼具有較佳的材料特性和熱處理效能，且跟不銹鋼和鋁合金等金屬相較之下成本較低，也具有較好之經濟效益，因此工業上使用得非常多。本研究針對碳化鎢內孔粗車刀在不同的斷屑槽斜角角度和不同的斷屑槽寬度設計，來進行切削中碳鋼的切削力研究。

現今國內工業採用的車削刀具大多為外國品牌，各廠牌都號稱自家刀具切削性能卓越，並特別強調其斷屑能力及車削效能，而目前國內對內孔粗車刀之斷屑槽設計資料較少，而且研究大多針對外徑車刀為主。故本研究針對不同的斷屑槽之斜角角度與斷屑槽寬度設計在不同的進給率及不同的切削深度下做探討，分析出較佳之斷屑槽幾何設計與加工條件，以降低切削阻力及切削溫度，達到較佳之切削性和加工效果。最後更期盼本研究的成果可做為學術界及工業界對於內孔粗車刀的斷屑槽設計及製造的參考。

1-2 內孔車刀刀角對車削加工的影響

因為內孔車刀與外徑車刀裝置在車床上的方式不同，所以刀角的定義跟外徑車刀會有所不同，本文就以常用到的各刀角功能（圖 1.1），統一定義出其名稱並說明各刀角對車削加工的影響。

(1) 斜角 (rake angle) :

斜角主要為刀具切削面與刀具底面所成的夾角，在此主要分為後斜角 (back rake angle, α_b) 與側斜角 (side rake angle, α_s) 兩種，如圖 1.1 所示。後斜角功能在於切削過程中使切屑比較容易流出，也就是控制切屑流出的方向和角度。側斜角主要能減少縱向進刀的切削阻力，通常需要與邊切角 (side cutting edge angle, C_s) 和邊間隙角 (side relief angle, θ_{ref2}) 搭配適當的切削斜角 (cutting rake angle, α_c)，以得到比較好的切削效果。

(2) 間隙角 (relief angle) :

間隙角為刀刃面與垂直刀具底面所成的夾角，主要分為前間隙角 (front relief angle, θ_{ref1}) 和邊間隙角 (side relief angle, θ_{ref2}) 兩種，如圖 1.1 所示。主要功能為避免刀具之刀腹在切削時與工件碰觸摩擦。

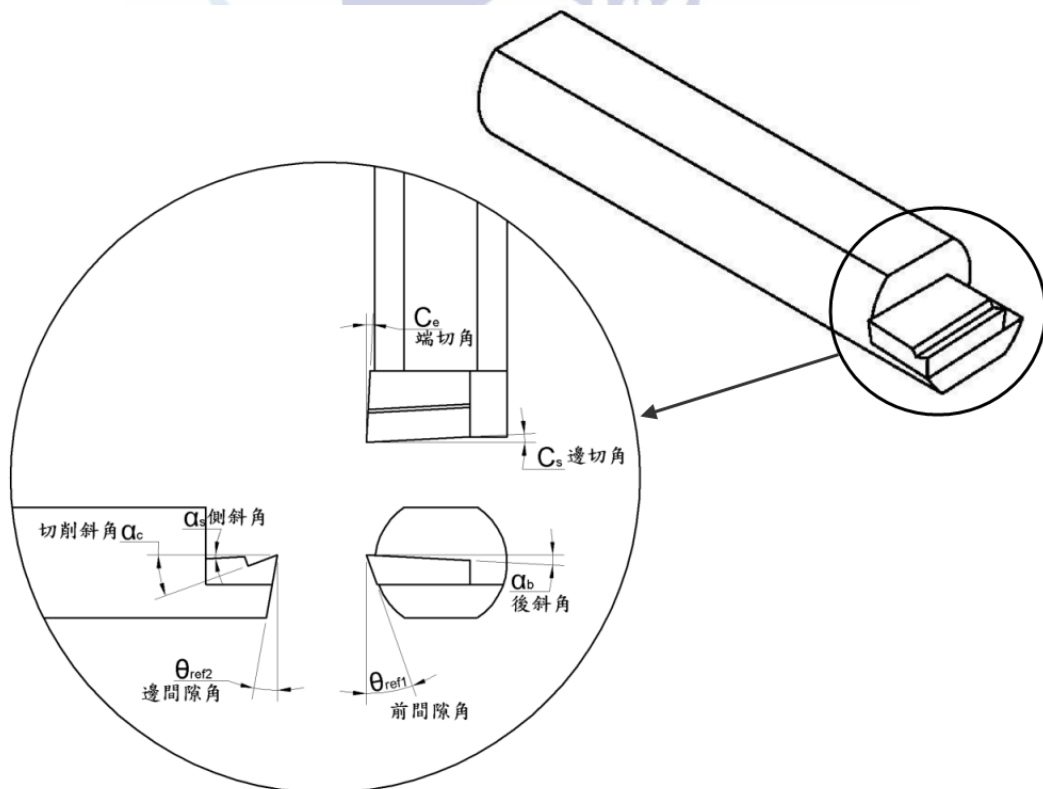


圖 1.1 本文實驗之內孔粗車刀刀角示意圖

(3) 切削角 (cutting edge angle) :

主要分為端切角(end cutting edge angle, C_e)與邊切角(side cutting edge angle, C_s)兩種，如圖 1.1 所示。內孔車刀之端切角為刀具刀口與刀具縱軸方向的夾角，主要功能除了避免刀口與工件產生摩擦外，此刀角如果取的太大時會造成刀口強度減弱，刀角取的太小則容易在切削時發生振動，使工件表面產生震紋。邊切角為刀具刀口與刀具橫軸方向所形成的夾角，其主要作用為改變切削時切屑的流向，和控制切屑的寬度和厚度，較大的邊切角在切削時容易得到較薄且較寬的切屑。

1-3 斷屑槽的樣式與重要性

在車削加工中，對於碳鋼這類材料的加工過程中，其切屑通常是連續的，儘管將刀具研磨出角度更大的斜角，在高速車削時如果未能有效的做斷屑處理，其切屑在排出時很容易纏繞於工件上，除了會破壞加工件的表面、增加刀具的磨耗而影響刀具使用壽命外，對機械操作人員亦是一種潛在的危險。因此在碳化鎢車刀，特別是粗車削刀具上，通常都會做斷屑處理。一般常用斷屑裝置或是研磨斷屑槽，如圖 1.3 所示。斷屑效果在外徑車削已經如此重要，在內孔車削則更顯其重要性，因為內孔車削的排屑更為困難，如果沒有良好的斷屑效果，則連續性的長條切屑很容易就纏繞於刀具，造成刀具的崩裂、工件表面的毀損更危及操作人員的安全。



圖 1.2 斷屑槽型式(蔡德藏，2006)

一般端焊式內孔粗車刀大都是現場加工人員以砂輪機或工具磨床研磨而成，其中車刀各種刀角的研磨是否恰當對切削性影響極為重要。雖然在相關著作中不乏對外徑車刀

的各刀角做說明，如傅光華教授的切削工具學(傅光華，1986)與洪教授的切削刀具學(洪良德等，1997)、李鈞澤博士的切削刀具學(李鈞澤，2001)、王千億和王俊傑先生的機械製造中(王千億、王俊傑，2010)，還有蔡德藏先生的實用機工學(蔡德藏，2006)，皆對各刀角有所說明，但針對斷屑槽方面就只有斷屑槽型式的介紹，在斷屑槽寬度及斷屑槽斜角角度並沒有更進一步詳細的說明。

在西華大學的呂鵬先生曾發表一篇車削力的實驗驗證(呂鵬，2011)，也是利用 Kistler 三軸向切削動力計來預測及驗證切削中碳鋼的實驗，但主要是針對無斷屑槽車刀在車削外徑時的切削力分析。而在湖北工業大學中由陳永潔教授等三人所發表的三維斷屑槽的作用機理(陳永潔等，1994)，雖然有提及斷屑槽的優點，但並沒有明確的指出各斷屑槽形式所測試出來的切削力數值。目前國內唯有林焰福先生所發表的碳化鎢車刀斷屑槽設計與切削中碳鋼之研究中(林焰福，2012)，比較有詳細的針對外徑粗車刀斷屑槽槽寬及角度加以探討。但是以上相關文獻皆以外徑車刀作為研究主題，在內孔車刀方面的研究資料較少，故本研究特別針對具有斷屑斜角之階梯式斷屑槽的內孔車刀進行分析與探討。

二、實驗規劃與步驟

2-1 實驗材料與設備配置

本研究實驗材料與設備規劃配置如圖 2.1 所示。實驗工件使用 JIS S45C 中碳鋼，內孔 $\phi 28\text{mm}$ ，長度 30mm，使用四爪夾頭夾置於高速車床主軸。實驗使用的高速車床為勝傑 410×760。內孔粗車刀使用 Widia TT25 刀片，含 $\phi 18\text{mm}$ 中碳鋼淬火刀柄。刀架上裝置有 Kistler-9257B 三軸向動力計。三軸向動力計連接到放大器-Kistler Type 5007。訊號經放大器後送至資料擷取器-PicoScope 4424。資料擷取器擷取資料後再傳送至個人電腦透過示波軟體 Picoscope 6 儲存以便進行分析處理。

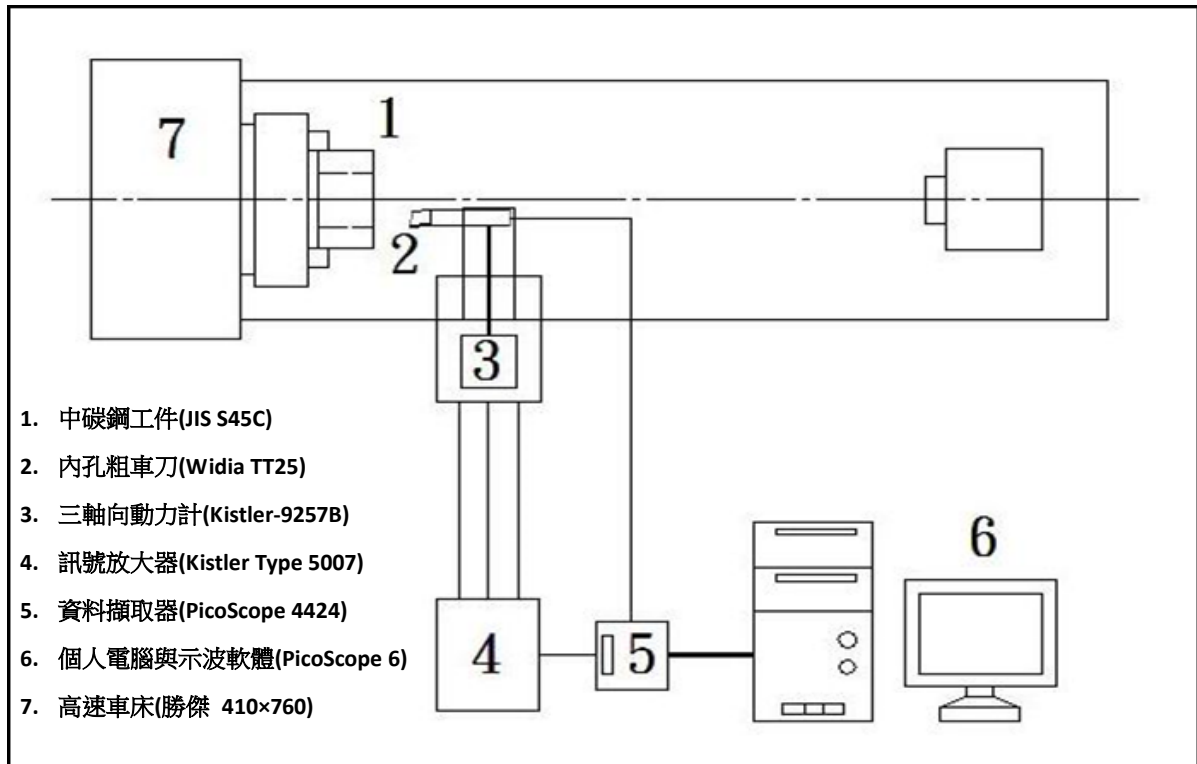


圖 2.1 內孔粗車削試驗設備配置圖

2-2 實驗參數規劃

(1) 刀具材料：

本次內孔粗車削試驗選用德製 Widia TT25 碳化鎢車刀片，成分為 WC76%、TiC+TaC14%、Co10%(KRUPP WIDIA)。將刀片與淬火後之刀柄利用銀焊焊接而成。一般刀具之焊接有分銅焊和銀焊兩種(王千億、王俊傑，2010)，銀焊焊料熔點較低且强度高，故本實驗刀具採用銀焊。

而在刀柄直徑尺寸的選用上，因機台設備的限制，本實驗在進行內孔粗車削時刀柄需伸長約 65mm，在經過多次測試下，直徑 18mm 以下之刀柄較容易產生顫振。為了避免顫振的影響，故選用 18mm 作為本實驗之刀柄的直徑尺寸。

(2) 車刀刀角：

內孔車刀因為車刀需伸入孔內，使得刀身和工件更容易有接觸摩擦的情形，所以在各刀角的考量上得更加注意。目前在內孔車刀刀角的研磨上，因各文獻書籍所提到的角

度不盡相同，故本實驗主要以陳順同教授的車床實習 3(陳與蔡，2008)、王金住老師的車床實習 II(王金柱，2011)及陳國俊老師的車床實習 III(陳國俊，2009)為內孔粗車刀研磨的參考依據，邊切角和邊間隙角皆研磨成 3° 、端切角和前間隙角則研磨成 10° 。

(3) 斷屑槽寬度與斷屑槽斜角角度：

在林焯福先生所著的碳化鎢車刀斷屑槽設計與切削中碳鋼之研究中(林焯福，2012)主要在探討斷屑槽斜角為 20° 和 25° ，斷屑槽寬度為 0.5mm - 2.5mm 的外徑車刀。在斷屑槽寬為 0.5 mm 時並無良好之切削力表現，甚至還比無斷屑槽之車刀來得更差。工業上大都採用的國外製刀具中(MITSUBISHI，2004；KYOCERA，2005；住友電工，2012)，粗車削用車刀之斷屑槽寬度大約都在 1 - 3 mm 寬的範圍內，而斷屑槽斜角大多為 20° - 25° 之間。故本實驗採用斷屑槽斜角角度為 20° 和 25° ，而斷屑槽寬度則為 1.0mm-3.0mm，共兩種斷屑槽角度和五種斷屑槽寬度，再以無斷屑槽的內孔粗車刀來做車削實驗比較切削力與切屑型態。

(4) 切削深度、切削速度：

在車床進行內孔車削前，會先以鑽頭鑽孔至工件所要求尺寸附近再進行內孔車削加工，一般內孔車削深度不會像外徑車削那麼大，故本研究之內孔粗車削實驗之切削深度為直徑 $\phi 2.0$ - $\phi 3.0$ mm。在切削速度的選擇方面，車削速度 V 公式如下：

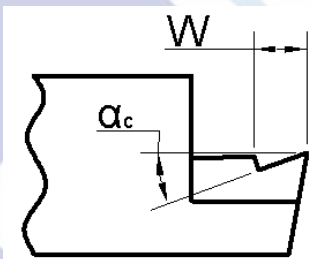
$$V = \frac{\pi DN}{100} \quad (\text{m/min}) \quad (2.1)$$

上式中 D 代表工件直徑(mm)， N 代表車床主軸轉速(rpm)。本實驗依車削速度參考表 [4]，建議在切削速度 60 (m/min) 下車削中碳鋼；實驗工件內孔直徑為 $\phi 28$ (mm)，換算出來對應的主軸轉速為 682.44 (rpm)。本次實驗所用之勝傑車床，取較接近之轉速 880 (rpm)，實際切削速度則為 77 (m/min)。

2-3 實驗步驟

- (1) 先利用砂輪機將內孔粗車刀研磨出邊切角(C_s)、邊間隙角(θ_{ref2})角度各為 3° 左右，端切角(C_e)、前間隙角(θ_{ref1})、角度各為 10° 左右 (如圖 1.1)，再利用光學投影機量測，使用工具磨床校正並精修出正確角度。
- (2) 將裝置有鑽石砂輪片之工具磨床平台調整成 20° 及 25° 之斜角斷屑槽角度，分別研磨出寬度 1.0mm、1.5mm、2.0mm、2.5mm 及 3.0mm 的內孔粗車刀之斷屑槽，斷屑槽的形狀為呈切削斜角(α_c) 20° 及 25° V 溝形狀(如圖 1.1)。
- (3) 車削實驗前先利用彈簧秤、重量塊等來對動力計作校正，確保三軸向所測得之數值和動力計參數設定正確。
- (4) 將內孔粗車刀裝置於車床動力計上進行內孔車削試驗，車削時採用自動進刀，不加切削劑。因應使用的實驗機台設計，進給率分別訂為 0.24mm/rev、0.34 mm/rev 及 0.42 mm/rev；切削深度分別以 $\phi 2.0$ mm、 $\phi 2.5$ mm 及 $\phi 3.0$ mm；轉速設定為 880RPM。為求切削速度維持一致，實驗所用的內孔 $\phi 28$ mm 之中碳鋼材料，每車削一次即做更換。
- (5) 本研究所進行之車削實驗，針對 20° 和 25° 斜角斷屑槽在不同斷屑槽寬度的情況下進行不同組合下的切削力的實驗，實驗目的在測量內孔粗車刀在車削時之切削力，且為了讓內孔粗車刀之刀刃保持同樣在狀態，在每一刀車削結束後均以油石磨利後再進行下一次內孔車削，以確保實驗的條件一致，且相同斷屑槽角度、寬度、切削深度及進給率下皆重複進行兩次以上車削實驗取得較穩定之數據。
- (6) 利用三軸向切削動力計及桌上型電腦將車削時之三軸向切削力數值記錄下來，並收集切屑進行分析比較。

表 2.1 內孔粗車刀之斷屑槽斜角角度與斷屑槽寬度表

刀具編號	斷屑槽角度(α_c)	斷屑槽寬度(W)
1		0.0 mm
2	20°	1.0 mm
3	20°	1.5 mm
4	20°	2.0 mm
5	20°	2.5 mm
6	20°	3.0 mm
7	25°	1.0 mm
8	25°	1.5 mm
9	25°	2.0 mm
10	25°	2.5 mm
11	25°	3.0 mm
刀具幾何示意圖		

三、結果與討論

3-1 內孔粗車削實驗切削力之比較

3-1-1 斷屑槽與切削力之關係

斷屑槽之斷屑原理是因為切屑流動過程中，受到斷屑槽的限制，使切屑能有效的折彎並產生內應力，產生破斷。因此適當的斷屑槽斜角角度與斷屑槽寬度、與切削深度及進給率的搭配，可降低切削阻力和刀尖溫度、提升刀具壽命與整體的切削效率。下列為本實驗所得之結果，從中可清楚的看出各種內孔粗車刀切削中碳鋼之切削力比較。

(1) 20°斜角斷屑槽內孔粗車刀之切削力比較：

表 3.1 為 20°斜角斷屑槽內孔粗車刀在不同進給率和不同切削深度之三軸切削力與無斷屑槽內孔粗車刀在不同進給率和不同切削深度之三軸切削力。圖 3.1 為 20°斜角斷屑槽內孔粗車刀與無斷屑槽內孔粗車刀的切削合力比較圖，從圖中可以看出，除了無斷屑槽之內孔粗車刀在切削時因斷屑效果不佳造成切削力較高外，斷屑槽寬度 1.0mm 之內孔粗車刀其切削力也較其它不同斷屑槽寬度之內孔粗車刀來得高，而斷屑槽寬度大於 1.5mm 之車刀，切削力值則呈現較穩定的情況。

表 3.1 不同斷屑槽寬度、切深和進給率下，20°斜角斷屑槽內孔粗車刀的切削力(N)

切削深度 (mm)		進給率 0.24 (mm/rev)			進給率 0.34 (mm/rev)			進給率 0.42 (mm/rev)		
		ψ2.0	ψ2.5	ψ3.0	ψ2.0	ψ2.5	ψ3.0	ψ2.0	ψ2.5	ψ3.0
斷屑槽寬度 (mm)	無	531.28	754.71	818.26	771.74	961.74	987.6	1022.87	1278.4	1493.43
	1.0	260.89	358.48	510.85	372.37	602.69	915.24	496.59	750.64	1195.53
	1.5	278.22	361.96	442.58	324.54	556.61	583.57	377.6	550.11	559.55
	2.0	300.33	403.01	374.13	295.05	371.62	576.01	293.25	401.88	480.76
	2.5	260.16	297.31	352.81	257.67	381.12	575.63	304.22	423.05	439.49
	3.0	259.18	319.11	345.46	312.74	341.90	542.90	302.85	394.46	447.52

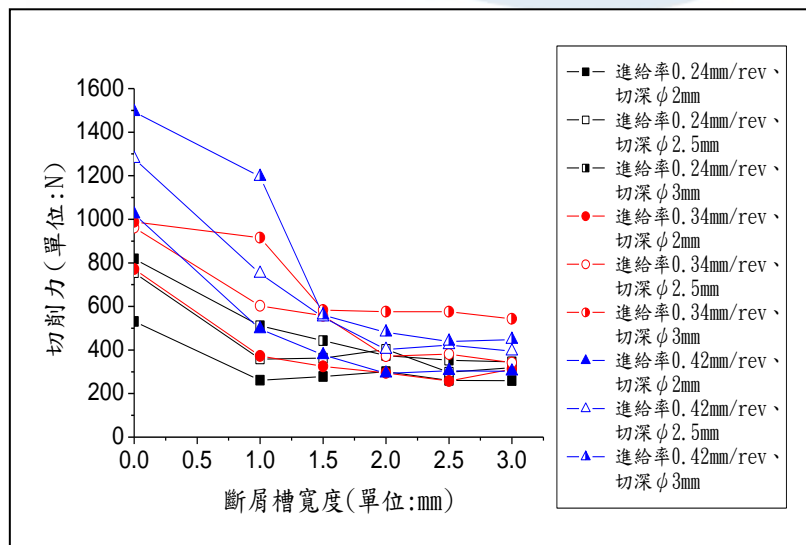


圖 3.1 不同斷屑槽寬度、切深和進給率下，20°斜角斷屑槽內孔粗車刀的切削力比較圖

(2) 25°斜角斷屑槽內孔粗車刀之切削力比較：

表 3.2 為 25°斜角斷屑槽內孔粗車刀與無斷屑槽內孔粗車刀在不同進給率和不同切削深度之切削力。圖 3.2 為 25°斜角斷屑槽內孔粗車刀與無斷屑槽內孔粗車刀的切削合力比較圖。與 20°斜角斷屑槽內孔粗車刀相比，25°斜角斷屑槽內孔粗車刀在進給率為 0.42 以下時，所呈現之切削力較小且穩定，當進給率在 0.42 以上時，切削力表現較不穩定，此現象可能是因為進給率較大的狀況下刀具產生顫振的關係。

表 3.2 不同斷屑槽寬度、切深和進給率下，25°斜角斷屑槽內孔粗車刀的切削力(N)

切削深度 (mm)		進給率 0.24 (mm/rev)			進給率 0.34 (mm/rev)			進給率 0.42 (mm/rev)		
		φ 2.0	φ 2.5	φ 3.0	φ 2.0	φ 2.5	φ 3.0	φ 2.0	φ 2.5	φ 3.0
斷屑槽寬度 (mm)	無	531.28	754.71	818.26	771.73	961.74	987.60	1022.87	1278.47	1493.43
	1.0	241.94	275.55	321.05	295.67	307.17	456.78	484.86	416.59	654.55
	1.5	275.27	339.51	437.95	279.71	348.56	477.19	335.75	602.15	1189.62
	2.0	246.42	383.49	360.25	249.24	331.82	463.70	321.61	768.11	1139.07
	2.5	209.39	245.46	332.11	227.35	320.75	436.04	363.92	373.79	693.28
	3.0	213.98	268.74	321.26	265.98	346.41	401.08	421.38	637.92	564.92

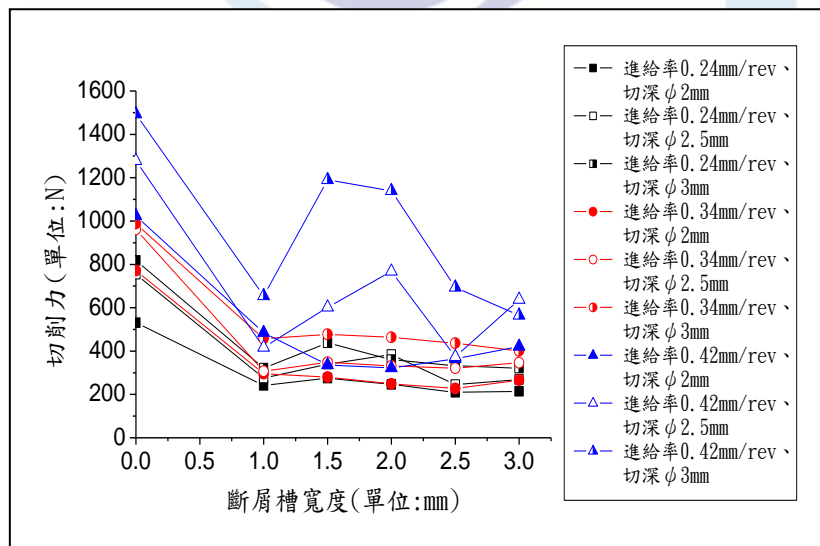


圖 3.2 不同斷屑槽寬度、切深和進給率下，25°斜角斷屑槽內孔粗車刀的切削力比較圖

3-1-2 斷屑槽角度對切削力之影響

圖 3.3 - 3.5 為 20°斜角斷屑槽內孔粗車刀和 25°斜角斷屑槽內孔粗車刀在不同的切削深度下之切削力比較圖，其中切削力值是由同切削條件下的不同斷屑槽寬度之內孔粗車刀的切削力平均值。從圖 3.3 - 3.5 中可以發現，在進給率 0.24 和 0.34 的實驗中，25°斜角斷屑槽之內孔粗車刀的切削力比 20°斜角斷屑槽之內孔粗車刀來得低，唯進給率在 0.42 狀況下 25°斜角斷屑槽之內孔粗車刀切削力表現開始不穩定，切削力也提升許多。

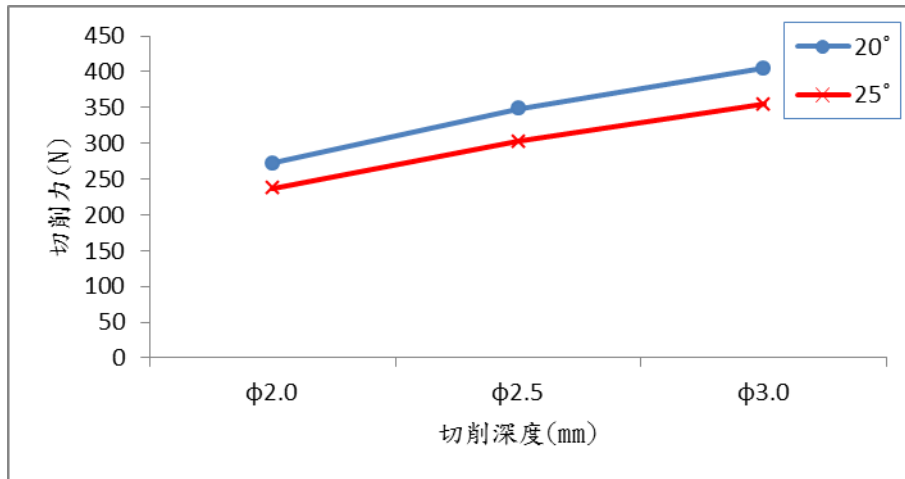


圖 3.3 不同切削深度下，斜角 20°和 25°斷屑槽內孔粗車刀在進給率 0.24mm/rev 時的切削力比較圖

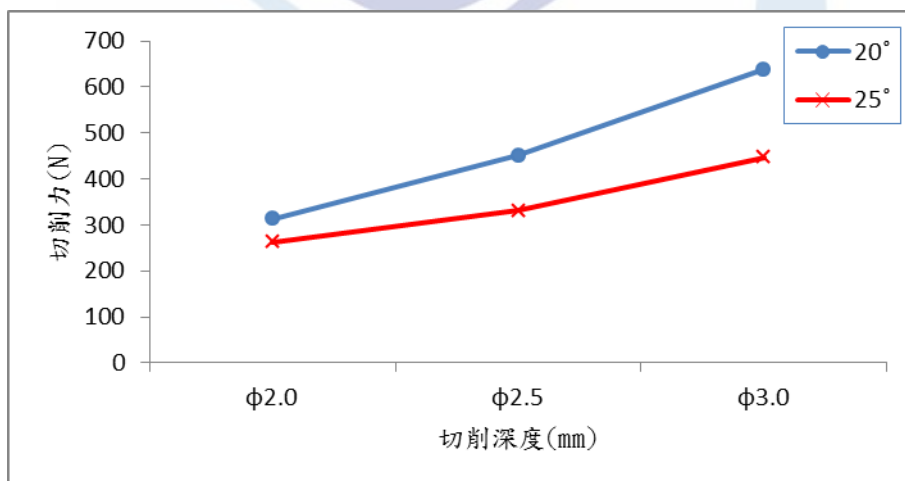


圖 3.4 不同切削深度下，斜角 20°和 25°斷屑槽內孔粗車刀在進給率 0.34mm/rev 時的切削力比較圖

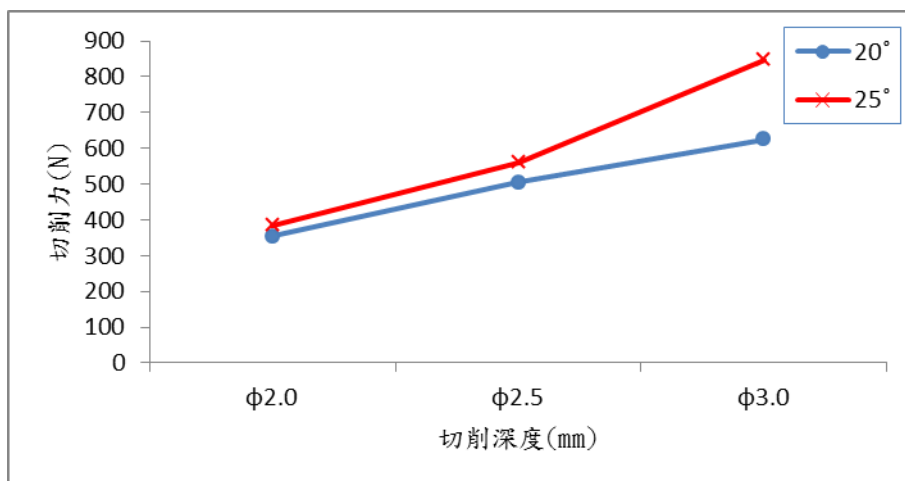


圖 3.5 不同切削深度下，斜角 20°和 25°斷屑槽內孔粗車刀在進給率 0.42mm/rev 時的切削力比較圖

3-2 切削力與切屑型態之綜合比較

因為內孔車削時的切屑排出比外徑車削困難，因此除了切削力大小的影響外，產生的切屑型態也非常重要，圖 3.6 為本內孔粗車刀切削實驗所產生之各種切屑型態，切屑型態之命名採用傅光華教授的切削工具學(傅光華，1986)及李鈞澤博士的切削刀具學(李鈞澤，2001)中所提及的各種切屑型態來做為分類依據。

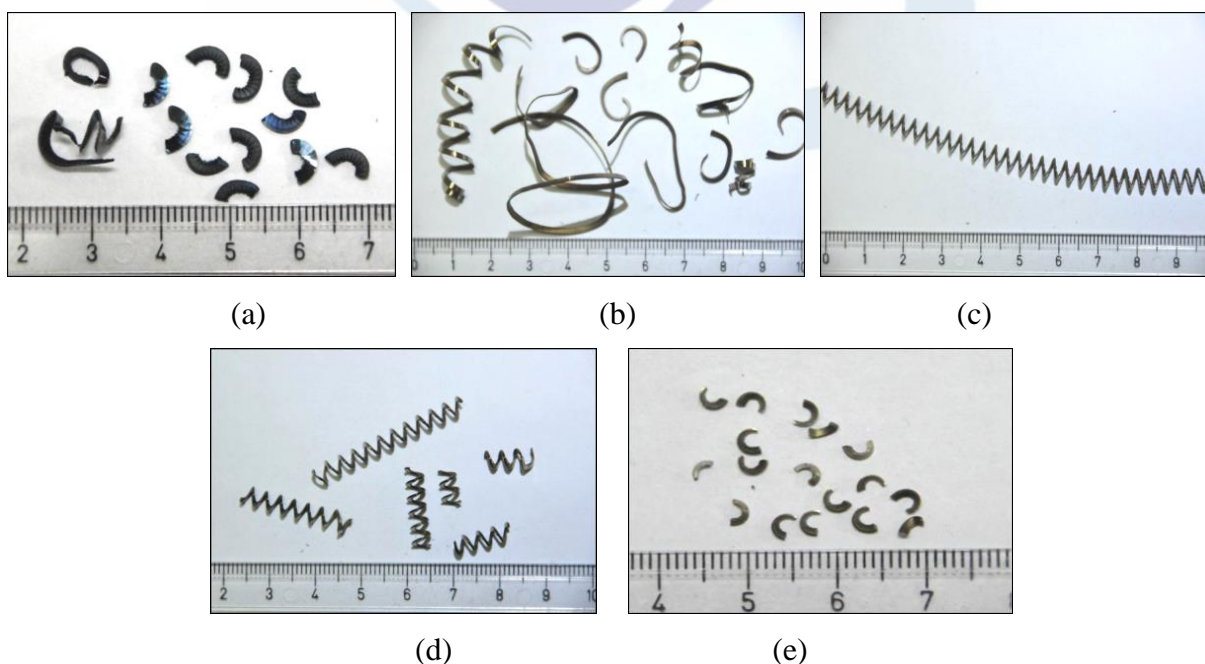


圖 3.6 (a)弧狀鬆散式切屑 (b)墊圈式螺旋狀切屑和糾結式切屑 (c)長式螺旋狀切屑 (d)短式螺旋狀切屑 (e)弧狀切屑

圖 3.6-(a)所呈現的弧狀鬆散式切屑，此類切屑的產生並不是因為斷屑槽的作用，而是靠刀腹部分在車削過程中將切屑擠壓折斷，在切削過程中所測得之切削力變化極大，在切屑內側有很明顯的擠壓和褶皺現象，且因為此切屑型態之切削力極大，切削溫度極高而切屑呈藍紫色，過高的切削溫度會降低刀具壽命，所以歸類為不理想的切屑型態。表 3.3 之切削條件下所得切屑均為弧狀鬆散式切屑。

表 3.3 產生弧狀鬆散式切屑時的內孔粗車刀斷屑槽角度、斷屑槽寬度、進給率、切削深度及切削力

斷屑槽角度	斷屑槽寬度 (mm)	進給率 (mm/rev)	切削深度 (mm)	切削力(N)
	0.0	0.42	ϕ 2.0	1022.87
	0.0	0.42	ϕ 2.5	1278.4
	0.0	0.42	ϕ 3.0	1493.43

圖 3.6-(b)為墊圈式螺旋狀切屑和糾結式切屑，此型態表示斷屑槽的斷屑效果不佳，且切屑容易和刀具和工件糾纏在一起，阻礙刀具排熱造成切削溫度提升以及破壞工件表面。表 3.4 之切削條件下所得切屑均為墊圈式螺旋狀切屑和糾結式切屑。

表 3.4 產生墊圈式螺旋狀切屑和糾結式切屑時的內孔粗車刀斷屑槽角度、斷屑槽寬度、進給率、切削深度及切削力

斷屑槽角度	斷屑槽寬度 (mm)	進給率 (mm/rev)	切削深度 (mm)	切削力 (N)
25°	2.0	0.24	ϕ 3.0	360.25
25°	2.5	0.24	ϕ 3.0	332.11

圖 3.6-(c)為長式螺旋狀切屑，在試驗中測出此切屑型態之切削力數值有高有低，其中切削力較高的狀況皆由無斷屑槽的內孔粗車刀產生，切削力較高時切削溫度也較高，切屑顏色較深。此類切屑幾乎沒斷屑產生，排屑不易且容易糾纏刀具及破壞工件表面。表 3.5 之切削條件下所得切屑均為長式螺旋狀切屑。

表 3.5 產生長式螺旋狀切屑時的內孔粗車刀斷屑槽角度、斷屑槽寬度、進給率、切削深度及切削力

斷屑槽角度	斷屑槽寬度 (mm)	進給率 (mm/rev)	切削深度 (mm)	切削力(N)
	0.0	0.24	ϕ 2.5	754.47
	0.0	0.24	ϕ 3.0	818.26
20°	3.0	0.34	ϕ 2.5	341.91
25°	2.5	0.24	ϕ 2.5	245.46

圖 3.6-(d)為短式螺旋狀切屑，在林焰福先生的碳化鎢車刀斷屑槽設計與切削中碳鋼之研究(林焰福，2012)中，提到此切屑型態之切削力最小，在本實驗中所測得之切削力也有較低之數值，但此類切屑在內孔車削時仍會有排屑不易的情況產生。表 3.6 之切削條件下所得切屑均為短式螺旋狀切屑。

表 3.6 產生短式螺旋狀切屑時的內孔粗車刀斷屑槽角度、斷屑槽寬度、進給率、切削深度及切削力

斷屑槽角度	斷屑槽寬 (mm)	進給率 (mm/rev)	切削深度 (mm)	切削力(N)
20°	2.5	0.34	ϕ 2.0	257.67
20°	3.0	0.42	ϕ 2.0	302.85
25°	2.0	0.34	ϕ 2.0	249.24
25°	2.5	0.34	ϕ 2.5	320.75

圖 3.6-(e)為弧狀切屑，因槽寬與切屑捲曲半徑大小適中，使切屑捲曲成弧狀而充分破斷的切屑。此時除切削力表現良好外，排屑效果也比圖 3.6-(d)所示之短式螺旋切屑更好，為本內孔粗車削試驗中最理想之切屑型態。表 3.7 之切削條件下所得切屑均為弧狀切屑。

表 3.7 產生弧狀切屑時的內孔粗車刀斷屑槽角度、斷屑槽寬度、進給率、切削深度及切削力

斷屑槽角度	斷屑槽寬 (mm)	進給率 (mm/rev)	切削深度 (mm)	切削力(N)
20°	1.0	0.24	ϕ 2.0	260.89
20°	1.5	0.24	ϕ 2.0	278.22
25°	1.0	0.24	ϕ 2.0	241.94
25°	1.0	0.24	ϕ 2.5	275.55
25°	1.5	0.24	ϕ 2.0	275.27
25°	2.5	0.34	ϕ 2.5	320.75

四、結論

本文以機械加工零件使用廣泛之中碳鋼作為試驗材料，利用碳化鎢內孔粗車刀研磨出不同斜角角度與寬度之斷屑槽來做車削試驗，並使用三軸向切削動力計量測不同切削條件下切削中碳鋼的切削力，將實驗結果整理並歸納出下列幾點：

- (1) 20°斜角斷屑槽之內孔粗車刀在進行內孔車削時，當斷屑槽寬小於 1.0 mm 時，其切削力較高且不穩定。而當斷屑槽寬為 1.5 mm - 3.0 mm 時之切削力較低及穩定。
- (2) 25°斜角斷屑槽之內孔粗車刀在進行內孔車削時，斷屑槽 1.0mm - 3.0mm 之車刀在切削時所測得之切削力均較 20°斜角斷屑槽內孔車刀為低，唯進給率高於 0.42 時切削力大於 20°斜角斷屑槽內孔車刀。
- (3) 在進給率低於 0.42 的情況下，25°斜角斷屑槽之內孔粗車刀在進行內孔車削時較 20°斜角斷屑槽之內孔粗車刀較好。
- (4) 內孔車削所需要考慮的因素和加工技術較外徑車削來的困難，因為排屑的不易，所以除了切削力數值的考慮外，切屑型態也是很重要的因素。如螺旋狀切屑型態雖然測出來的切削力尚佳，但排屑效果不佳，反而容易造成刀具的磨耗，而弧狀切屑除了切削力較好外，排屑效果也較佳。在一般機械加工場所也可以用此作為判斷刀具是否研磨良好的參考依據。

參考文獻

- MITSUBISHI, 2004, 綜合刀具目錄, MITSUBISHI 三菱株式會社。
- KRUPP WIDIA, 德國威力亞碳化鎢刀具型錄, 嘉正貿易行有限公司。
- KYOCERA, 2005, 京瓷切削工具, 京瓷商貿有限公司。
- 王千億、王俊傑, 2010, 機械製造, 全華科技圖書股份有限公司。
- 王金柱, 2011, 車床實習 II, 文野出版社。
- 李鈞澤, 2001, 切削刀具學, 新文京開發出版有限公司。
- 呂鵬, 2011, “車削力的實驗驗證”, 西南大學學報 (自然科學版), Vol. 33, No. 9。
- 住友電工, 2012, 切削工具型錄, 住友電工。
- 林焰福, 2012, 碳化鎢車刀斷屑槽設計與切削中碳鋼之研究, 碩士論文, 機械與機電工程研究所, 國立宜蘭大學。
- 洪良德、陳正仁、陳昌順、謝壬癸、李鈞澤、郭柏立、傅光華, 1997, 切削刀具學, 高立圖書有限公司。
- 徐明堅, 2001, 最新切削加工技術, 傳漢出版社。
- 張弘智、陳順同, 2011, 機械基礎實習, 全華圖書股份有限公司。
- 傅光華, 1986, 切削工具學, 高立圖書有限公司。
- 葛文軍、俞芬、陳東林, 2010, 車削加工實用技巧, 機械工業出版社。
- 蔡德藏, 2006, 實用機工學, 全華科技圖書股份有限公司。
- 陳永潔、師漢民、左武炘、方寧, 1994, “三維斷屑槽的作用機理”, 湖北工學院學報, Vol. 9, No. 3。
- 陳順同、蔡俊毅, 2008, 車床實習 3, 全華圖書股份有限公司。
- 陳順同、蔡俊毅, 2009, 車床實習 I, 全華圖書股份有限公司。
- 陳國俊, 2009, 車床實習 III, 勁園·台科大圖書股份有限公司。
- 靜恩鶴, 2006, 車削刀具技術及應用實例, 化學工業出版社。
- Chang, C.S., 1994, “A Force Model for A Single Point Tools with A Chamfered Main Cutting Edge,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 42, pp. 319-340.
- Chang, C.S., 1995, “Prediction of the Cutting Forces for Chamfered Main Cutting Edge Tools,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Design, Research, and Application, Vol. 35, pp. 1559-1586.
- Chang, C.S., 2010, “A study of cutting temperatures of turning stainless steels with chamfered main cutting edge nose radius worn tools,” *Journal of Advances in Abrasive technology*,

pp. 760-776.

Chang, C.S., 2011, "Prediction of cutting temperatures in turning Carbon - Fiber - Reinforced - Plastics with worn tools," *Journal of Applied Science*, Vol. 11, pp. 3698-3702.

