



斜角斷屑槽車刀切刃倒角設計對切削 中碳鋼之切削性能研究

張充鑫¹ 江兆庭² 鄭皓文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

本研究之主要目的為探討斜角階梯式斷屑槽車刀的主切刃倒角對切削力與斷屑能力的影響。首先將相同的斜角階梯式斷屑槽車刀分別研磨出不同的主切刃倒角。斷屑槽車刀的設計分別計有不同的切刃倒角和斷屑槽寬度。研究當中採用三種參數，共磨出九種不同幾何形狀及刀角的车刀。另外以一把未做切刃倒角處理的斜角階梯式斷屑槽車刀作為對照組。工件材料選用中碳鋼，各種車刀在不同的切削深度和進給率下進行切削實驗，並以三維切削動力計來量測切削力，且收集切屑以判斷斷屑情形。論文中也探討斜角階梯式斷屑槽刀具的切刃倒角角度與切刃倒角寬度和切削力的關係，分析主切刃倒角對切削力的影響。另外將各種刀具在不同切削條件下產生的切屑整理後，分析主切刃倒角對斜角階梯式斷屑槽車刀斷屑能力的影響。

關鍵詞：主切刃倒角、車削、中碳鋼、斷屑、切削力。

*通訊作者 E-mail : cschang@niu.edu.tw



A Study of the Cutting Performance in Turning Medium Carbon Steels Using Chamfered Main Cutting Edge Tools with Chip Brake

Chung-Shin Chang¹, Zhao-Ting Jiang², Hao-Wen Cheng²

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

The main purpose of this research is to investigate the effects of different chamfered main cutting edge tools with chip brake width in cutting performance and cutting force. A number of cutting experiments were executed based on prepared nine tools. 1045 carbon steel was selected as workspace for turning experiment. The experimental method and procedures were scheduled as follows: Firstly, preparing a number of cutting tools with identical chip-breaker. Secondly, the cutting tools with different chamfered main cutting edge were ground. The chamfered main cutting edges include 3 different chamfer angle and 3 different chamfer width. Totally 9 different kinds of cutting tool were used for the study. Finally, experiment data including cutting force and chips were collected and analyzed. The results showed the effects are remarkable.

Keywords: Chamfered main cutting edge, Turning experiment, Chip break, Cutting force

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

一、前言

1-1 序論

金屬切削加工，是機械製造工業基本加工方法之一。金屬切削過程，即是以切削刀具將工件多餘部分的材料去除的過程，其中又有車削、刨削，鑽孔、搪孔、絞孔、鋸切、拉削、銑削及磨削等多種金屬切削加工應用形式(圖 1)，其中車削又可細分為外徑車削，內孔車削(搪孔)，切斷，螺紋車削。時至今日，在機械製造加工過程中，凡是高剛性與對精度要求較高的零件，仍然是以金屬切削作為主要的加工方法(趙芝眉等，1989)。

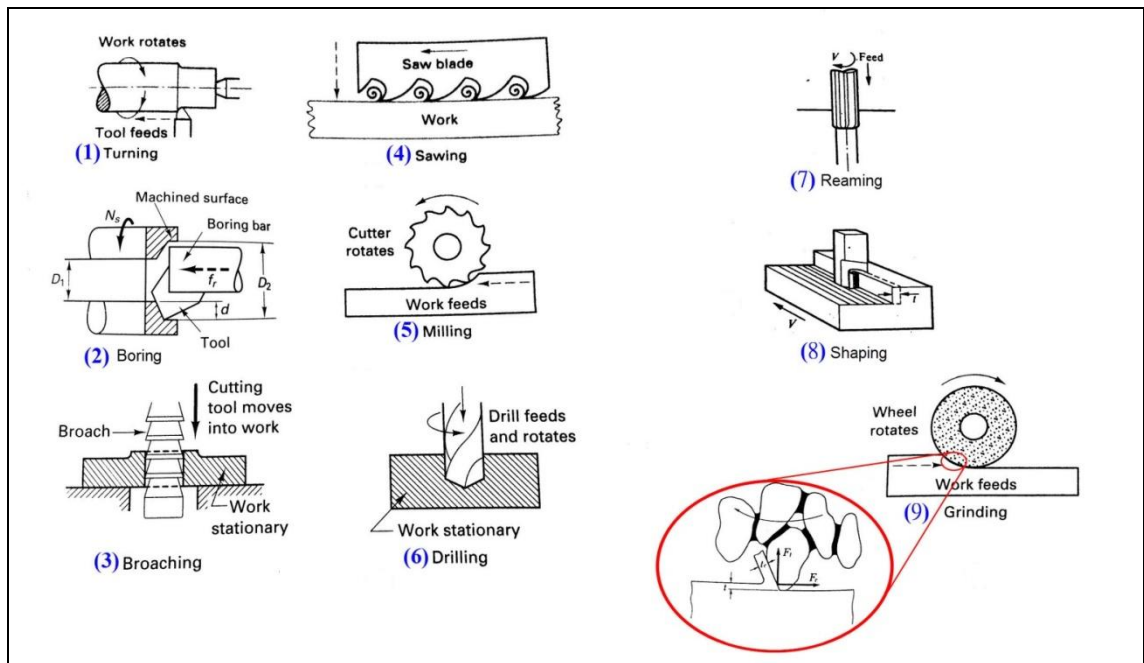


圖 1. 金屬切削應用形式[7~9] (1)外徑車削 (2)搪孔 (3)拉削(4)鋸切(5)銑削 (6)鑽孔 (7)絞孔 (8)刨削 (9)磨削

車削碳鋼之類的延性材料時，經常會產生連續式切屑。雖然產生連續式切屑的切削過程中切削力較為穩定，但是當堅硬且尖銳的連續式切屑纏繞於工件時，會造成工件表面磨損甚至造成操作人員的危險，而且連續式切屑纏繞於切削刀具上會造成切削產生的熱量不易排出，進而提高切削溫度而降低刀具壽命，而且連續式切屑佔有的空間較大，在切屑的後續處理上較不連續式切屑不方便。

過去有研究者(Joshi et al., 1999 ; Chang, 2006 ; Chang and Chen, 2012)曾提出斜角階梯式斷屑槽的設計除了能提升斷屑斷屑能力還能夠降低切削力，但是由於該設計可能造成刃口強度降低，減少刀具壽命。本研究將斜角階梯式斷屑槽結合能夠穩定產生 BUE (Built-up edge) 而達到保護刀刃效果的切刃倒角設計，並探討主切刃倒角對刀具性能的影響，包含對切削力和斷屑能力的探討。圖 2 為斜角階梯式斷屑槽車刀的切屑流圓 (Chip flow circle) 模型，我們認為主切刃倒角會對切削過程的切屑接觸長度 (L_c) 有所影響，而接觸長度亦為影響切屑流圓半徑 (R) 的重要因子，進而影響到刀具的斷屑能力。

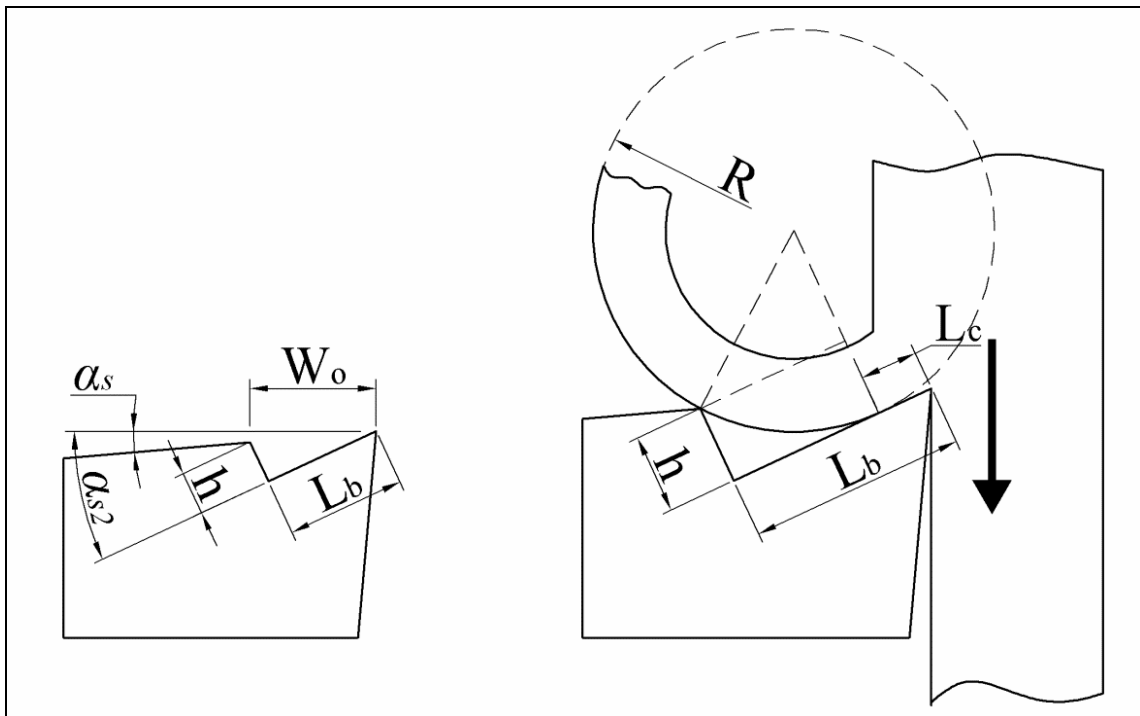


圖 2. 斜角階梯式斷屑槽刀具的切屑流圓 (Chip flow circle) 模型

本研究將探討做中碳鋼外徑車削時，不同的主切刃倒角參數對斜角階梯式斷屑槽車刀在不同切削條件下的切削力和斷屑能力表現，並且與無切刃倒角的斜角階梯式斷屑槽車刀做比較。期望本研究的成果能讓其他金屬切削研究者或刀具開發製造廠商做為參考。

二、文獻探討

2-1 車刀刀角

下圖 3 為外徑車刀基本刀角定義示意圖。車刀刀角的中文命名在不同的參考書籍中就有很多版本，常出現同一刀角卻有數種中文名稱的情形。本節將對外徑車刀各刀角功能做說明並統一定義本文使用的刀角名稱。

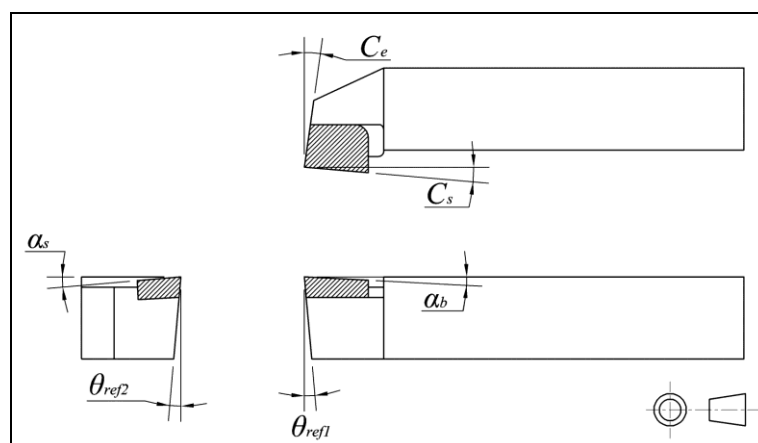


圖 3. 車刀基本刀角定義示意圖

2-2 斜角(Rake angle)

斜角主要為刀背平面與水平面所成的夾角，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，後斜角指的是刀背平面和水平面朝刀柄後方的夾角，側斜角指的是刀背平面和水平面朝刀具側面方向的夾角，如上圖 3 所示。

2-3 間隙角(Relief angle)

間隙角為刀刃面與垂直刀具底面方向所成的夾角，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，前間隙角是指刀刃前端面和垂直方向的夾角，邊間隙角則是刀刃側面與垂直方向的夾角，如上圖 3 所示。

2-4 切邊角(Cutting edge angle)

主要分為端切邊角（End cutting edge angle， C_e ）與側切邊角（Side cutting edge angle， C_s ）兩種，端切邊角為刀具前端切邊與工件軸向的夾角，側切邊角為刀具側端切邊與工件徑向的夾角，如上圖 3 所示。

2-5 斷屑器(Chip-breaker)

常見的斷屑器型式是對刀具的設計上做改變，大致上可分為磨槽式斷屑器與壓板式斷屑器。磨槽式斷屑器又可細分為斜角階梯式，平行階梯式和溝槽式(傅光華等，1992)，如下圖 4 所示。

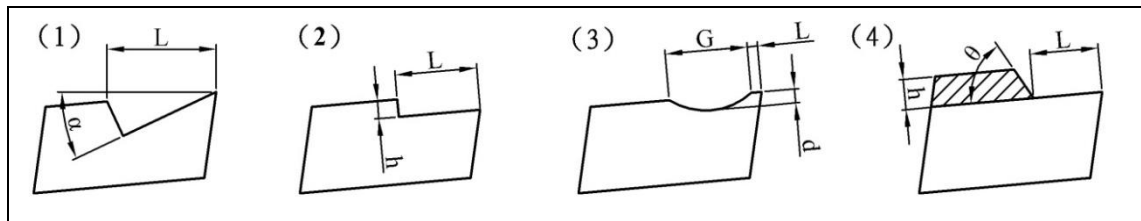


圖 4. 各種斷屑器形式與幾何意義(1)斜角階梯式(2)平行階梯式(3)溝槽式(4)壓板式

Nakayama (1962)曾以壓板式斷屑器作為研究主題，探討切削條件、工件材料與斷屑器設計對斷屑能力的影響，其中切削條件主要以切屑流圓半徑與切屑厚度最為影響切屑破斷與否，而切削速率、進給率和邊切角則是透過對切屑厚度的影響間接影響斷屑。

R.M.D. Mesquita (Tirkey, 2001)等人對溝槽式斷屑器的斷屑能力作探討，結果顯示在低切削深度下斷屑器的性能因剪切角的變化而下降，斷屑能力較容易被切削速率所影響。

Choi 和 Lee (2001)對溝槽式斷屑槽設計和斷屑能力的研究中整理出溝槽式斷屑槽設計和切削參數影響斷屑能力的幾個重要因子，其中亦提及切屑捲曲半徑和斷屑能力較為完整的因果關係，如下圖 5 所示。

林焰福(2012)、黃宜倫(2013)和吳旻翰(2013)都曾經研究過斜角階梯式斷屑槽車刀對刀具性能的影響，各別針對不同的切削型態與切削材料作探討，在各自的研究中都得到了斷屑槽角度和斷屑槽寬度愈大，而切削力降低的結論。

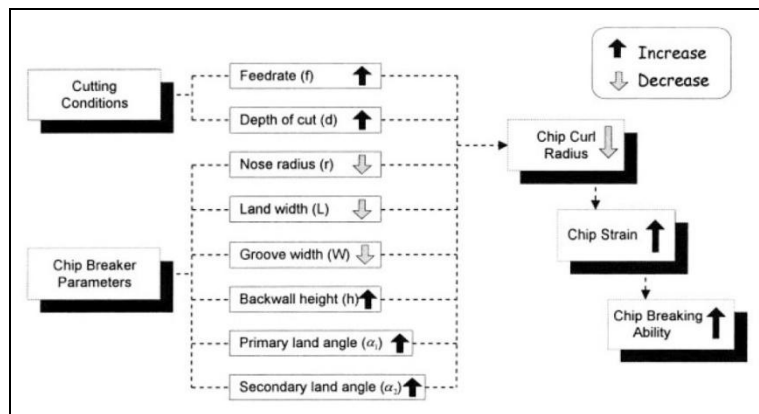


圖 5. 溝槽式斷屑槽設計與切削參數對斷屑能力的影響因子(Choi and Lee, 2001)

2-6 BUE 與主切刀倒角

切削速率增加時，切屑和刀具之間的摩擦也會增加，當刀具和切屑間的磨擦力大到足夠在切屑表面產生剪切破壞時，部分的切屑便會滯留堆積於刀具表面並形成 BUE

(Built-up edge)，如下圖 6 所示。BUE 為應變硬化產生的層狀結構體，可視為由被削材組成的刀刃，具保護刀具的效果，但是當 BUE 成長到一定程度時便會被切屑流帶走或者鑲入完成表面。逐漸成長與快速消失的 BUE 便形成了鋸齒狀的完成表面(林焰福，2012)。



圖 6. 尖刀刀具切削金屬時產生的 Built-up edge

Hoshi 和 Hoshi (1968)曾廣泛的探討 BUE 的特性，實驗中發現了 BUE 的產生會提升切屑與刀具的接觸長度，但該研究是針對尖刀刀具切削時產生的 BUE 作探討，而且切削

速率達到一定程度(約 56 m/min)以上就幾乎不會產生 BUE。之後開發出稱為 SWC(Silver white chip) 的切削技術(Hoshi and Hoshi,1969)。SWC 技術必須具備能夠穩定的產生 BUE 並且能將 BUE 連續的排出的刀具幾何形狀。主切刃倒角 (Chamfered main cutting edge, 負稜主刃倒角) 設計便能有效且穩定的產生 BUE, 並且能夠使 BUE 沿著切削刀方向連續排出, 排出的長條狀 BUE 亦被稱之為第二切屑 (Secondary chip), 如圖 7 所示。



圖 7. 第二切屑示意圖

三、實驗方法與材料

3-1 實驗配置

本研究將探討對中碳鋼做外徑切削時, 不同的主切刃倒角對斜角階梯式斷屑槽車刀在各種切削條件下的切削力和斷屑能力表現。切削實驗的實驗配置如下圖 8 所示, 實驗使用 JIS45C 中碳鋼, 使用四爪夾頭至於高速車床主軸。實驗使用勝傑 410*760 高速車床, 並使用 Widia AT40 燒結碳化物車刀。刀架上則置有 Kistler-9257B 三軸向動力計, 將訊號傳至電荷放大器 Kistler Type 5007 轉為電壓訊號後送至 PC 示波器 PicoScope 4424 轉為數位訊號後再經由示波軟體 Picoscope6 儲存。

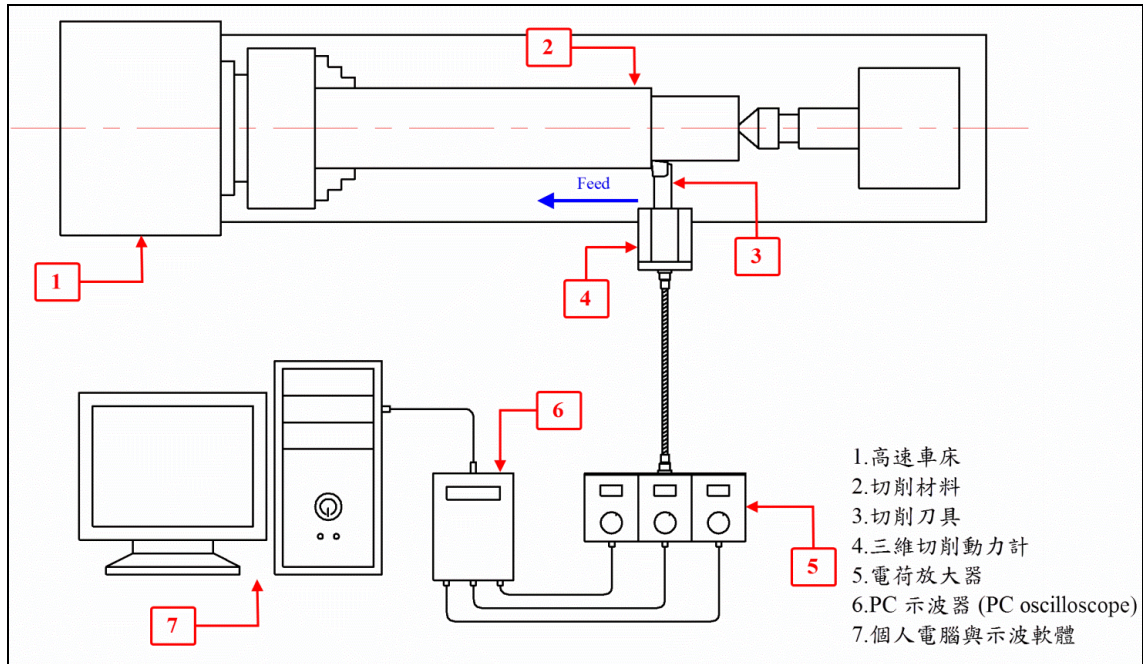


圖 8. 切削實驗設備配置圖

切削實驗使用不同主切刃倒角的刀具，在各種切削條件下對中碳鋼做外徑切削，以動力計和電荷放大器等設備量測並記錄車削過程中的切削力，並且收集各實驗條件下所產生的切屑，以記錄切屑型態並且做後續分析。

3-2 實驗參數規劃

本研究研磨出究主要探討的主切刃倒角，尺寸定義如圖 9 所示，主切刃倒角參數與刀具代號如表 1 所示，各種主切刃倒角的車刀各一把，另外準備一把無切刃倒角設計的斜角階梯式斷屑槽車刀代號 N2 作為對照組。

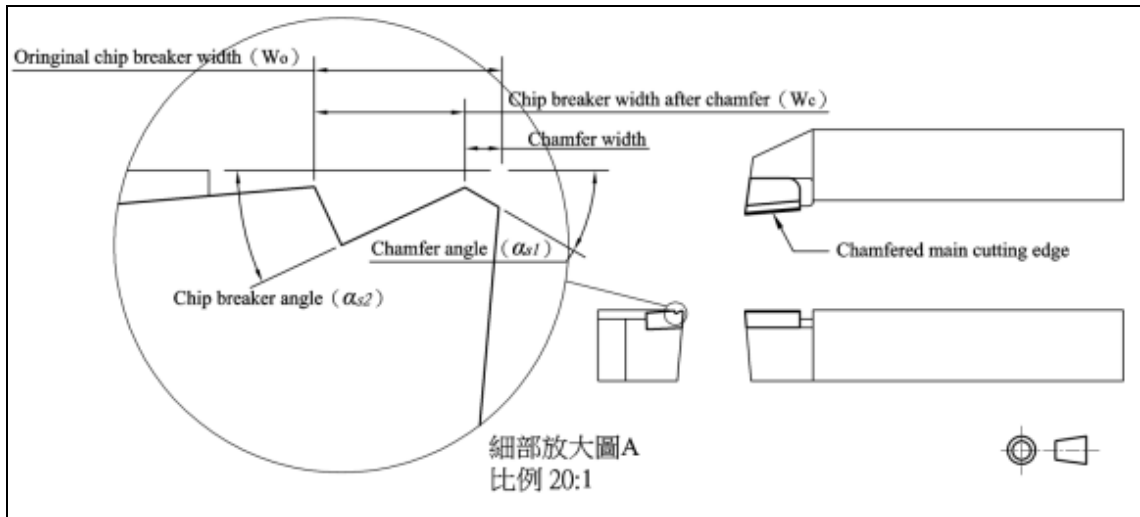


圖 9. 主切刀倒角尺寸定義示意圖

表 1. 主切刀倒角參數與刀具代號表

α_{s1} \ W_c	W_c	1.7mm	1.8mm	1.9mm
	0°		A1	A2
15°		B1	B2	B3
30°		C1	C2	C3

本研究所選用的切削深度 1、2 及 3mm 與進給率 0.1、0.21 及 0.42mm/rev, 共能組合成 9 種切削條件, 如表 2 所列。各組切削條件下的切削速率皆固定, 每一把車刀在每一組實驗時切削長度約為 10mm, 切削完成後便換車刀, 直至每一把車刀都在該切削條件下進行實驗。

下列表 3 為車削實驗中, 各組切削條件的切削速率。使用式 (1) 計算出適當的工件外徑與車床轉速使切削速率 V 落在設定的速率範圍內。

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \quad (1)$$

V ：切削速率 (m/min) D ：材料切削前外徑 (mm) N ：車床主軸轉速 (rpm)

表 2. 切削實驗組

進給率(mm/rev) 切削深度(mm)	0.1	0.21	0.42
1	D1F0.1	D1F0.21	D1F0.42
2	D2F0.1	D2F0.21	D2F0.42
3	D3F0.1	D3F0.21	D3F0.42

表 3. 各切削條件之切削速率

切削條件	D(mm)	N(rpm)	V(m/min)	切削條件	D(mm)	N(rpm)	V(m/min)
D1F0.1	35.42	1350	150.2	D3F0.1	39.66	1350	168.2
D1F0.21	58.72	880	162.3	D3F0.21	42.4	1350	179.8
D1F0.42	42.1	1350	178.6	D3F0.42	54.24	880	150.0
D2F0.1	33.24	1350	141.0				
D2F0.21	50.4	880	139.3				
D2F0.42	40.24	1350	170.7				

四、結果與討論

4-1 切刃倒角寬度和切刃倒角角度與切削合力之關係

表 4 多數的實驗數據都顯示了，倒角後的斷屑槽寬度 W_c 與切削力呈現負相關，也就是較小的切刃倒角寬度的刀具，切削時產生較小的切削力。而切刃倒角角度 α_{s1} 切削力呈現正相關，倒角角度愈大，切削力也會提升。

表 4. 各實驗組之切削力數據細目(單位 N)

條件	D1F0.1				D1F0.21				D1F0.42			
	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z
A1	358	244	67	254	471	260	79	384	770	332	193	668
A2	358	243	106	240	394	192	65	338	699	254	186	624
A3	328	172	154	233	341	135	48	309	655	202	162	601
B1	553	426	152	319	564	366	91	420	871	461	240	698
B2	531	416	91	317	564	369	77	419	843	445	200	688
B3	460	334	150	279	488	293	72	383	771	349	207	655
C1	1163	967	392	512	840	652	80	524	1205	785	358	841
C2	840	701	220	406	701	505	92	477	1062	651	262	797
C3	767	623	215	393	694	495	97	476	970	570	216	754
N2	328	193	124	234	498	271	90	407	748	296	227	649
條件	D2F0.1				D2F0.21				D2F0.42			
	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z
A1	664	450	68	484	900	503	79	742	1371	601	140	1224
A2	616	404	99	455	753	355	71	660	1488	625	168	1341
A3	553	325	138	425	756	358	43	664	1317	465	168	1221
B1	936	723	127	581	1138	761	86	842	1749	1064	220	1370
B2	911	700	87	576	1167	778	78	866	1600	915	178	1300
B3	752	541	126	506	941	548	69	762	1331	618	208	1160
C1	1519	1273	350	751	1923	1549	356	1082	2005	1376	516	1364
C2	1224	1018	163	660	1533	1198	215	933	1835	1179	364	1359
C3	1178	952	208	662	1482	1145	210	917	1714	1062	394	1287
N2	536	311	125	418	850	361	85	764	1111	310	174	1052
條件	D2F0.1				D2F0.21				D2F0.42			
	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z	合力	平均 X	平均 Y	平均 Z
A1	1046	717	101	754	1288	712	85	1070	2126	1055	125	1841
A2	890	580	125	664	1149	608	143	964	2145	1030	185	1872
A3	799	496	129	613	1117	561	185	948	1907	803	248	1711
B1	1310	1019	111	816	1642	1153	188	1154	2850	1844	230	2162
B2	1305	1013	108	816	1671	1159	152	1193	2559	1556	200	2021
B3	1070	783	72	725	1328	826	233	1013	2195	1123	286	1864
C1	2139	1848	211	1055	2257	1817	181	1326	3205	2317	518	2153
C2	1762	1480	163	942	2033	1570	279	1262	2845	1904	403	2075
C3	1690	1409	112	926	1937	1457	328	1233	2622	1694	393	1962
N2	815	474	167	642	1088	496	206	946	1761	591	220	1645

4-2 切刀倒角寬度和切刀倒角角度對正交平面的切削合力方向的影響

多數的實驗數據都顯示了，倒角後的斷屑槽寬度 W_c 與角度 $\beta-\alpha$ 呈現負相關，，切削合力與 Z 軸在正交平面上的夾角較小。而切刀倒角角度 α_1 與角度 $\beta-\alpha$ 呈現正相關，倒角角度愈大，切削合力與 Z 軸在正交平面上的夾角較大。角度 $\beta-\alpha$ 與切削合力大小呈現密切的正相關，以散佈圖表示如圖 10~12 所列。

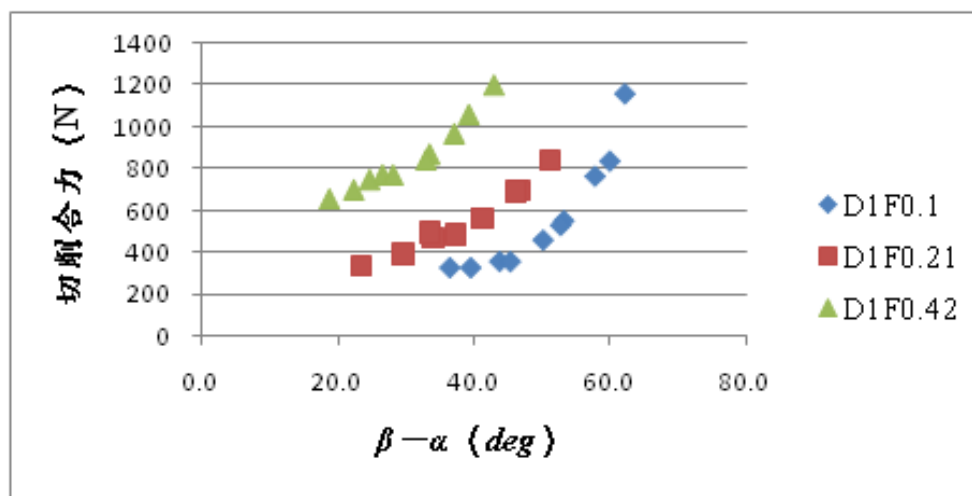


圖 10. 各刀具在切深 1 mm 和不同的進給率下切削測得切削力數據計算所得角度 $\beta-\alpha$ 與切削合力散佈圖

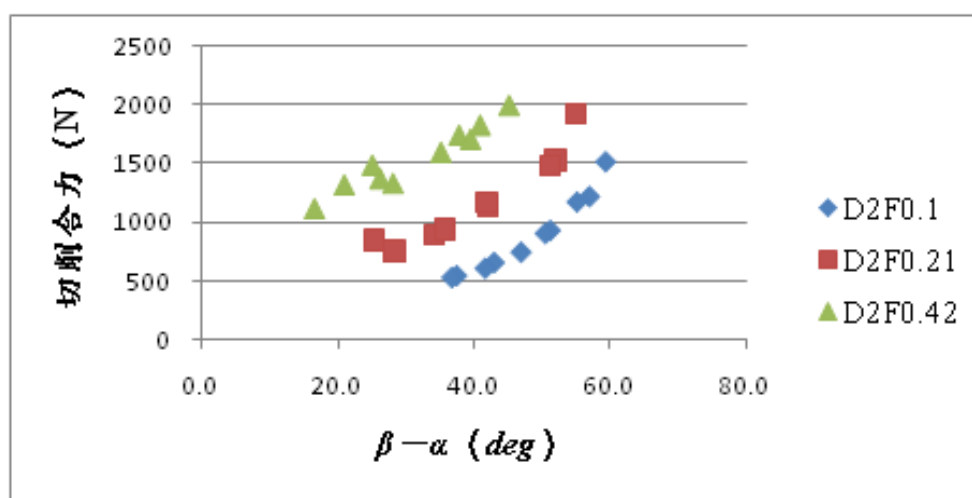


圖 11. 各刀具在切深 2 mm 和不同的進給率下切削測得切削力數據計算所得角度 $\beta-\alpha$ 與切削合力散佈圖

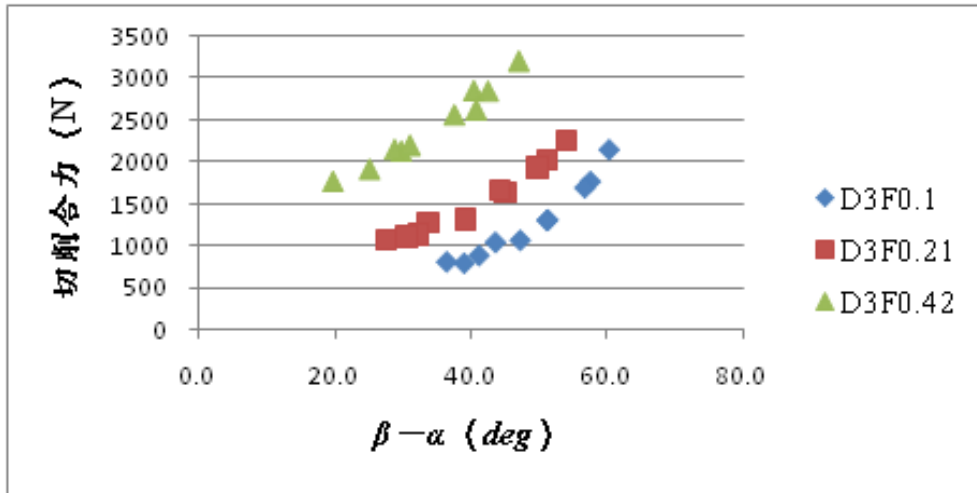


圖 12. 各刀具在切深 1 mm 和不同的進給率下切削測得切削力數據計算所得角度 $\beta - \alpha$ 與切削合力散佈圖

4-3 第二切屑

在切削實驗中所產生的第二切屑截面，並量測第二切屑截面角度 θ_B ，定義如圖 13 所示。

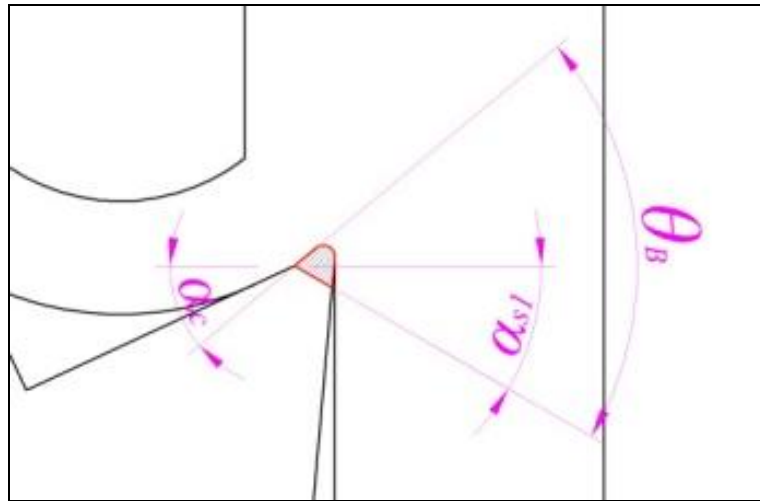


圖 13. BUE 截面量測角度示意圖

圖 14 為不同切削條件下得到的切削斜角 α_c 與切削合力的散佈圖。圖中顯示了切削斜角 α_c 與切削力呈現負相關，與一般切削狀況下斜角和切削力的關係相符，除了 D3F0.42

組別可能因為樣本數較少，數據呈現些微的正相關，這顯示了主切刀倒角刀具因為產生第二切屑而產生的斜角變化也會影響切削力的大小

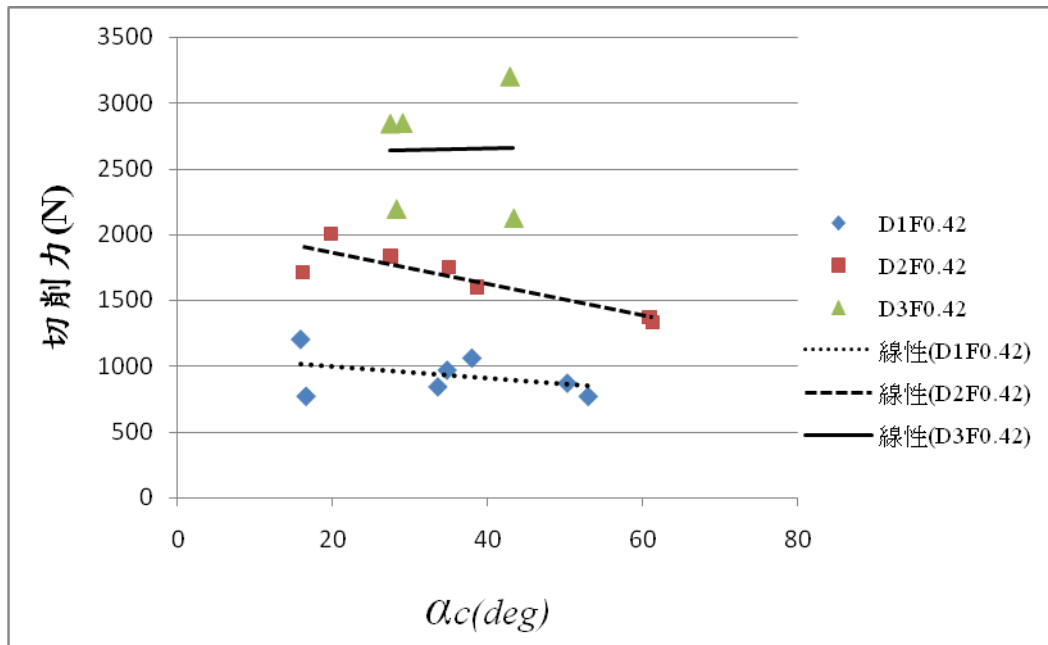


圖 14. 切削斜角 α_c 與切削合力的散佈圖

五、結論

本文以中碳鋼為試驗切削材料，將斜角階梯式斷屑槽車刀研磨出不同倒角角度與倒角寬度之主切刀倒角，在不同的切削條件下進行車削試驗。以三軸向切削動力計量測切削力並收集車削所產生的切屑，將實驗結果整理並歸納出下列幾點：

- (1) 在本實驗條件下，刀具的主切刀倒角刀具的倒角寬度愈小(倒角後的斷屑槽寬度 W_c 愈大)的切削力較低，反之亦然。
- (2) 在本實驗條件下，刀具的主切刀倒角 α_{s1} 的角度愈大，切削合力較高。
- (3) 在本實驗條件下，適當的主切刀倒角使刀具在部分切削實驗組中得到的切削合力低於無切刀倒角的刀具。
- (4) 在本實驗條件下，刀具的主切刀倒角 α_{s1} 的角度愈大，切削合力與切削速率方向的夾角較大，反之亦然。

- (5) 在本實驗條件下，刀具的主切刃倒角刀具的倒角寬度愈小，切削合力與切削速率方向的夾角較小，反之亦然。
- (6) 在本實驗條件下，主刀刃倒角對切削中碳鋼的斷屑能力的影響並不明顯，主切刃倒角刀具和無切刃倒角的刀具都在進給率約 0.21 mm/rev 以上開始斷屑。
- (7) 在本實驗條件下，切刃倒角角度 30° 、 15° 和 0° 在一定的進給率（約 0.21 mm/rev ）以上都有可能產生第二切屑，第二切屑的生成與否和切削深度關係不大。
- (8) 在本研究使用的估測方式從實驗中取得的樣本得到的數據顯示，主切刃倒角刀具產生第二切屑時的切削斜角 α_c 與切削中碳鋼時的切屑力呈現負相關，這表示因第二切屑的產生而改變的切削斜角也會影響切削力的大小。

參考文獻

- 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，國立宜蘭大學。
- 吳閔翰，2013，“斷屑槽碳化鎢車刀切削不鏽鋼材之切削力研究”，碩士論文，國立宜蘭大學。
- 黃宜倫，2013，“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”，碩士論文，國立宜蘭大學。
- 陳天生著，陳阿茂周波校閱，1998，“工廠實習車工”，全威圖書有限公司。
- 傅光華、洪良德、陳正仁、陳昌順、謝壬癸、李鈞澤、郭柏立編著，1992，“切削刀具學”，高立圖書有限公司。
- 趙芝眉、湯銘權、蔡在亶編著，1989，“金屬切削原理”，科技圖書股份有限公司。
- Shaw, M.C., 1984, “Metal cutting principles,” *Technology Press*, M.I.T.
- Degarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., 2003, “Materials and processes in manufacturing 9th edition,” pp. 359.
- Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., Ramakrishnan, P., 1999, “Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al: SiCP composites,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 88, pp. 90-96.
- Chang, C.S., 2006, “Turning of glass-fiber reinforced plastics materials with chamfered main cutting edge carbide tools,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 180, pp. 117-129.
- Chang, C.S., Chen, C.H., 2012, “Prediction of cutting temperatures in turning carbon-fiber-reinforce-plastics materials using chamfered main cutting edge sharp tools considering wear,” *宜蘭大學工程學刊*, Vol. 8, pp. 78- 89.
- Nakayama, K., 1962, NO. 17. “A study on chip-breaker,” *Bulletin of JSME*, Vol. 5, pp. 142-150.
- Fang, N., 1998, “Influence of the geometrical parameters of the chip groove on chipbreaking performance using new-style chip formers,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 74, pp. 268-275.
- Choi, J.P., Lee, S.J., 2001, Int. Adv. J., “Efficient chip breaker design by predicting the chip breaking performance,” *Manufacturing Technology*, Vol. 17, pp. 489-497.
- Hoshi, K., Hoshi, T., 1968, “On the metal cutting mechanism with the built-up edge,” 北海道大

- 学工学部紀要, Vol. 12(3), pp. 241-271,.
- Hoshi, K., Hoshi, T., 1969, "Silver white chip (SWC) cutting tools," *Metal Cutting Technology*, pp. 87-104.
- Sorin, P., 1955, "A BUE in the process of cutting," *Microtechnic*, Vol. 9, pp.125-133.
- Chang, C.S., Fuh, K.H., 1995, No. 11. *Int. Mach. J.*, "Prediction of the cutting forces for chamfered main cutting edge tools," *Tools Manufacturing*, Vol. 35, pp.1559-1586.
- Chang, C.S., 1998, "A force model for nose radius worn tools with a chamfered main cutting edge," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 38, pp.1467-1498.
- Chang, C.S., 2007, "Prediction of the cutting temperatures of stainless steel with chamfered main cutting edge tools," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 190, pp. 332-341.
- Worthington, B., Rahman, M.H., 1979, *Int. Mach. J.*, "Predicting breaking with groove typebreakers," *Tool Des. Rcs.* Vol.19, pp. 121-132.
- Zhou, Li, 2001, "Machining chip-breaking prediction with grooved inserts in steel turning," *Worcester polytechnic institute Ph. D thesis.*
- Shi, T., Ramalingam, S., 1993, No. 9, *Int. Mech. J.*, "Modeling chip formation with grooved tools," *Science Citation Index*, Vol. 35, pp. 741-756.
- Jawahir, I.S., 1988, "The chip control factor in machinability assessments: recent trends," *Journal of Mechanical Working Technology*, Vol. 17, pp. 213-224.
- Altintas, Y., Kilic, Z.M., 2013, "Generalized dynamic model of metal cutting operations," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, pp. 47-50.
- Petropoulos, G., Ntziantzias, I., Anghel, C., 2005, "A predictive model of cutting force in turning using taguchi and response surface techniques," *International conference on experiments/process/system modelling/simulation/optimization.*
- Wang, Z., Wu, Z., Xu, L., Li, C., 2013, "Research on the prediction system of cutting tool life," *2nd International Conference on Measurement, Information and Control.*
- Chang, C.S., Fuh, K.H., 1998, "An experimental study of the chip flow of chamfered main cutting edge tools," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 73, pp. 167-178.
- Kim, J.D, Kweun, O.B., 1997, No. 5, *Int. Mach. J.*, " A chip-breaking system for mild steel in turning," *Tools Manufacturing*, Vol. 37, pp. 607-617.
- Shinozuka, J., Obikawa, T., Shirakashi, T., 1996, "Chip breaking analysis from the viewpoint of

the optimum cutting tool geometry design,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 62, pp. 345-351.

Tirkey, N., 2001, “Evaluation of chip breaker,” *National institute of technology bachelor of technology thesis*.

Chang, C.S., 2000, “A study of high efficiency face milling tools,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 100, pp. 12-29.

Lu, Z., Yoneyama, T., 1999, “Micro cutting in the micro lathe turning system,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, pp. 1171-1183.

Chen, J.C., Huang, L.H., Lan, A.X., Lee, S., 1999, NO. 3, “Analysis of an effective sensing location for an in-process surface recognition system in turning operations,” *Journal of Industrial Technology*, Vol. 15, pp. 2-6.

Kistler instrument AG · Kistler-9257B dynamometer, Instrument manual

Kistler instrument AG · Kistler type-5007 charge amplifier, Instrument manual

ISO-3685 Tool-life testing with single-point turning tools, 1993, p 46.