

碳化鎢車刀車削中碳鋼之研究

張充鑫¹ 陳大智² 朱彥霖³ 簡肇信⁴ 施正哲⁵ 陳昭宇⁶

- 1、國立宜蘭技術學院機械工程學系教授
- 2、國立宜蘭技術學院機械工程學系副教授
- 3、國立宜蘭技術學院機械工程學系學生
- 4、國立宜蘭技術學院機械工程學系學生
- 5、國立宜蘭技術學院機械工程學系學生
- 6、國立宜蘭技術學院機械工程學系學生

摘要

本文乃利用碳化鎢車刀磨成不同幾何形狀的刀角及刀鼻半徑，藉著其在車削過程中所造成的剪切面積變化，建立單鋒刀具的三維切削力學模式，並利用最小能量法以預測三維切削力量，結果顯示理論值與實驗值極為接近。切削實驗中，並做了切屑與工件表面光度的探討，以尋找較佳的刀具形狀及諸角度，結果發現切邊角約為 30 度時是一理想的角度。

關鍵詞：中碳鋼、碳化鎢、車削、斜交切削與最小能量法

Turning of Medium Carbon Steel Using Tungsten Carbide Tools

Chung-Shin Chang¹ Da-Chih Chen² Yen-Lin Zu³ Chao-Shin Chien⁴ Chen-Zao Sie⁵ Zau-Yue
Chen⁶

1. Professor, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology
2. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology
3. College student, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology
4. College student, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology
5. College student, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology
6. College student, Department of Mechanical Engineering, National I-Lan Institute of Technology

Abstract

The tungsten carbide tools are ground by us, which make them be various specifications. The variations in shear plane areas occurring in turning situation are used. A three dimensional force model for a single-point tool is proposed by minimum energy method in the present study. The results of the turning experiments show that the experiment data are close to the theoretical values. Cutting experiments were conducted by using medium carbon steel to study the mechanism of main chip formation; the surface roughness of workpiece and the ideal tool geometries were observed. Among the various sets of cutting experiments designed and performed in this research, it shows $C_s \cong 30^\circ$ would be an ideal tool geometrical.

Key Words: medium carbon steel, tungsten carbide, turning, oblique cutting, and minimum energy method

一、前言

中碳鋼常被應用於工業界中，由於它具有較佳的材料特性和熱處理效能，所以常被用來製造各種機械零件或結構件。金屬加工中車削約佔整體機械加工的 20%左右 [1]。然而機件加工中，切削效率的提高取決於正確的選用切削刀具、刀角和機器。而切削速率、切深及進給率也是很重要的因素。而這些重要因素中，影響最大的應該是刀具的切邊角(side cutting edge angle, C_s) [2, 3]。切邊角可控制切屑的流向，它也是除了邊斜角(side rake angle, α_s)之外，改變切屑流動方向的主要刀角。切屑之流向大約是垂直於切削邊，切邊角除了可控制切屑之厚度外，也可以改變切削力大小。切邊角愈大則刀具與工件之接觸線愈長，切屑的厚度較薄且切削面較寬，其與工件的接觸面也較大，刀具所承受之橫向切削力即徑向力(Transverse cutting force, F_T) 也大，但垂直切削力即軸向進給力(Vertical cutting force, F_V)反會隨切邊角的增大而減小。切邊角也會影響到刀具的磨耗狀況，較大的切邊角造成切削時，車刀所產生的熱可分佈於較大的面積使熱易散出，其大小的變化也會影響到切削效率的高低和刀具的壽命。而斜角包括邊斜角(α_s)和後斜角(back rake angle, α_b)，適當的斜角可使切削自如，延長刀具壽命 [4]。前間隙角(front relief angle, α_{ref1}) 的作用為在於使車刀在車削時，刀尖和工件之接觸面下形成一空間，以避免刀具和工件被切削面產生磨擦，並使刀具易於進入工件而作做切削，以提高切削效率。前間隙角之大小也會影響到刀具的性能，若角度愈大，雖然較銳利，但刃口下的支持力反較弱，將難以承受徑向切削力而破損。若角度太小則刀具不易切入工件，且會與工件的被切削面產生摩擦 [4, 5]。自切削邊與工件接觸面向內傾斜的角度稱為邊間隙角 (side relief angle, α_{ref2})，其功用是使車削時工件面和車刀側面形成一空間，以避免車刀刀根與工件產生干涉現象。一般而言，工件材料愈硬其強度愈大，則應選用邊間隙角較小的車刀，使其切削邊有充份的支持部位，反之邊間隙角愈大，則會使刀刃變為銳利，也易於對工件加工。刀鼻半徑也會影響到工件的表面光度，刀具的刃口強度、切削力的大小以及散熱能力 [6]。而一般碳化物車刀中，P 類適用於切削鋼料，K 類適用於鑄鐵、石材或非鐵金屬等的加工，M 類則適用於不銹鋼、鑄鋼、錳鋼、合金鑄鐵、奧斯田鐵鋼、可鍛鑄鐵及易削鋼等的加工 [7, 8]。

本研究是以同一種碳化鎢材質的刀具磨成四種不同幾何形狀、不同刀角而刀鼻半徑相同的車刀，如表一來做實驗，以驗證何種刀角的車刀其切削效率最好，所需的切削力最小，以及切削時刀尖所產生的熱量也最小，並將所得結論提供學術界或工業界參考。

二、材料與方法

(一)理論分析

本研究首先為設計並磨好不同幾何形狀的刀具，如表一所示，以做中碳鋼的切削實驗。圖 1 為刀具在切削中碳鋼時的基本三維力學模式圖，圖 2 為圖 1 中的詳細圖。切削過程中有三個比較重要的速率，那就是切削速率 V 、剪切速率 V_s 和切屑流動速率 V_c 。根據切削運動學原理，得知三種切削速率的關係式如下：

$$V_s = \frac{V \cos \alpha_e}{\cos(\phi_e - \alpha_e)} \quad (1)$$

$$V_c = \frac{V \sin \phi_e}{\cos(\phi_e - \alpha_e)} \quad (2)$$

在三維金屬切削過程中，單位時間內所消耗的剪切能 U_s 為

$$U_s = F_s V_s = \frac{\tau_s A \cos \alpha_c}{\cos(\phi_e - \alpha_e)} V \quad (3)$$

其中

$$F_s = \tau_s A \quad (4)$$

在 1978 年 Usui 教授[9] 發表了切削過程中每單位時間所消耗的磨擦能 U_f 為

$$U_f = F_t V_c = \frac{\tau_s \sin \beta \cos \alpha_e}{\cos(\phi_e + \beta - \alpha_e) \cos(\phi_e - \alpha_e)} QV \quad (5)$$

其中

$$F_t = \frac{\tau_s Q \sin \beta \cos \alpha_e}{\cos(\phi_e + \beta - \alpha_e)} \quad (\text{式中 } Q \text{ 為刀具切削時與工件接觸的磨擦面積}) \quad (6)$$

為了得到三維傾斜刀具的有效傾斜角 α_e ，首先我們必須知道切屑流經刀具表面的流向。其有效傾斜角以 α_e 來表示， η_c 是表切屑流經刀具表面的流動角，即切屑與刀具切削邊所夾之夾角，為切屑在與刀面接觸時的磨擦角。Shaw 教授[10] 曾經證明當 η_c 的值知道時，則有效傾斜角 α_e 可由下列第(7)式求得：

$$\alpha_e = \sin^{-1}(\sin \alpha_s \cos \alpha_b \cos \eta_c + \sin \eta_c \sin \alpha_b) \quad (7)$$

式子(7)中， α_s 為邊斜角，如表一所示； α_b 為後斜角，而 η_c 為切屑流動角。有效傾角 α_e 與有效剪切角 ϕ_e 的關係為 $\phi_e = \exp(0.581 \alpha_e - 1.139)$ ，有效傾斜角 α_e 與切屑在刀面上的磨擦角 的關係為 $\eta_c = \exp(0.848 \alpha_e - 0.416)$ ，有效傾斜角 α_e 與剪應力 τ_s 的關係為： $\tau_s = 517 - 19.9 \alpha_e$) MN/m^2) [9]

$$\phi_e = f(\alpha_e); \quad \tau_s = g(\alpha_e); \quad \text{及 } \beta = h(\alpha_e) \quad (8)$$

計算式(3)中， A 為刀具切削工件時所形成的剪切面積，而剪切面積 A 則包括三角形面積 BEC (A_1)，和四邊形面積 CEFD (A_2)，兩者面積合起來即為 A ，如圖 2 所示。其公式如下：

$$A_1 = \frac{t_1^2}{4 \cos^2 \alpha_s} \left\{ \frac{4 \cos^2 \alpha_e}{\sin^2 \phi_e \cos^2 \eta_c} - \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha_e}{\sin^2 \phi_e \cos^2 \eta_c} - \frac{1}{\sin^2 \eta_c} \left[\sin^2 \eta_c + (\sin \alpha_e + \cos \alpha_e \cot \phi_e)^2 - 2 \sin \eta_c \sin \alpha_b (\sin \alpha_e + \cos \alpha_e \cot \phi_e) \right] \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

$$A_2 = \frac{t_1 \left(\frac{2b}{\cos \alpha_b} - \frac{t_1 \tan \eta_c}{\cos \alpha_s} \right)}{2 \sin \phi_e \cos \alpha_s \cos \eta_c} \left[\cos^2 \alpha_e - \sin^2 \phi_e (\sin \eta_c - (\sin \alpha_e + \cos \alpha_e \cot \phi_e) \times \sin \alpha_b)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

式中 b 為切屑寬度， d 為切深也就是進刀深度， t_1 為切屑厚度， f 為進給率

$$t_1 = f \cos C_s \quad (11)$$

$$b = \frac{d}{\cos C_s} \quad (12)$$

$$Q = \frac{b \cdot t_1}{\cos \alpha_b \cos \alpha_s} \quad (13)$$

Q 為摩擦面積，即梯形的面積 ABCD

在計算最小能量 U_{\min} 時， η_c 是一個很重要的角度，因 η_c 是一個變數，因此在計算過程中可利用復傳軟體(Fortran)，以迴圈的方法將 η_c 不停的由小變大作改變，用以求得最小能量 U_{\min} [11]，其流程圖如圖 3 所示。下列公式就是說明 U 和 U_{\min} 的關係式

$$U = U_s + U_f = V(F_H)_{\min}, \text{ 其中 } U_{\min} = F(f, d, V, C_s, C_e, \alpha_b, W_e, \theta_{ref} \text{ 及 } \eta_c) \quad (14)$$

在圖 3 中，我們先設定好程式中的已知條件如 α_b 、 C_s 、 C_e 、 f 、 V 和 η_c 以求出 α_e 、 ϕ_e 、 τ_s 。再利用這些參數來求剪切面積 A 和摩擦面積 Q ，進而求得切削能 U ，但此切削能 U 並不一定是最小能量 U_{\min} ，所以在程式中加了一個迴圈方式來改變 η_c 的大小，並求出最小之 U 值 (U_{\min})，如果當 $U \neq U_{\min}$ 時則改變 η_c 值，直到當 $U = U_{\min}$ 時即可得到切屑流動角 η_c 。

用電腦模擬以計算出水平切削力 (F_H) 的數學算式如下：

$$VF_H = U_s + U_f \quad \text{for } U_{\min}$$

$$F_H = (F_H)_{U_{\min}} = \frac{U_{\min}}{V} = \left\{ \frac{\tau_s \cos \alpha_e A}{\cos(\phi_e - \alpha_e)} + \frac{\tau_s \sin \beta \cos \alpha_e Q}{\cos(\phi_e + \beta - \alpha_e) \cos(\phi_e - \alpha_e)} \right\} \quad (15)$$

當求出水平切削力時，我們可以利用電腦來計算出合成切削力 (R_H)

$$(R_t)_H = N_t \cos \alpha_s \cos \alpha_b + (F_t)_{U_{\min}} \sin \alpha_e = (F_H)_{U_{\min}} \quad (16)$$

把上式整理後則可得到正向反力

$$N_t = \frac{(F_H)_{U_{\min}} - (F_t)_{U_{\min}} \sin \alpha_e}{\cos \alpha_s \cos \alpha_b} \quad (17)$$

而橫向切削力(即徑向力 F_T)及垂直切削力(即軸向進給力 F_V)可用下列式子表示

$$F_T = -N_t \cos \alpha_s \sin \alpha_b + F_t (\sin \eta_c \cos \alpha_b - \cos \eta_c \sin \alpha_s \sin \alpha_b) \quad (18)$$

$$F_V = -N_t \sin \alpha_s + F_t \cos \eta_c \cos \alpha_s \quad (19)$$

$(F_H)_M$ 為修正後的水平切削力(即切線力), 如圖 4 所示。式子 (17) 中, N_t 是正向反力, 其中修正後的水平切削力 $(F_H)_M$ 是犁入力 (F_P)、水平切削力 (F_H) 及磨耗力 (F_W) 的總和。這些力都是會影響到刀具的最後切削力量, 且廣為被人們所重視[12], 其計算式如下:

$$(F_H)_M = F_H + F_P + F_W \quad (20)$$

其中

$$F_P = HB r L_f \quad (21)$$

$$L_f = \overline{pm} + \overline{mk} = \frac{d}{\cos C_s} + \frac{f \cos C_s}{\cos(C_e - C_s) \cos \alpha_s} \quad (\text{當刀尖 } R = 0 \text{ 時}) \quad (22)$$

$$F_W = \tau_y L_f V_b \quad (23)$$

$$V_b = t \cos \alpha_e (\cot \theta_{ref2} - \tan \alpha_e) \quad (24)$$

$$L_p = \overline{p_1 m} + \overline{m_1 m} = \frac{d}{\cos C_s} \sin C_s + \frac{f \cos C_s \cos C_e}{\cos(C_s - C_e) \cos \alpha_s} \quad (\text{當刀尖 } R = 0 \text{ 時}) \quad (25)$$

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{2} [13] \quad (26)$$

$$\sigma_y = \frac{HB}{\pi} \quad (27)$$

圖 4 中 r 為刀具刀邊半徑, 此半徑為刀具切削時被磨耗的大約半徑, t 為刀腹磨耗的大約長度, V_b 為切削時刀腹與工件間的磨耗面積。 L_f 為刀具與工件之接觸長度, 如圖 5(a) 所示, L_p 為刀具與工件接觸時其投影之長度, 如圖 5(b) 所示。其長度 L_f 與 L_p 可分別由式子(22)及(25)計算出來。

因刀具在切削過程中會產生刀腹磨耗 V_b , 因此須修正理論垂直切削力 (F_V), 及理論橫向切削力 (F_T)。而修正後的橫向切削力, $(F_T)_M$, 及垂直切削力, $(F_V)_M$, 如式子(28)及(29)所示:

$$(F_T)_M = F_T + L_p V_b \sigma_y \quad (28)$$

$$(F_V)_M = F_V + L_p V_b \tau_y \quad (29)$$

在圖 6 中 $C_s \neq 0$ 的情況下，最後的三軸向切削力改變成如下：

$$F_{HH} = (F_H)_M = (F_H)_{\min} \quad (30)$$

$$F_{TT} = (F_T)_M \cos C_s + (F_V)_M \sin C_s \quad (31)$$

$$F_{VV} = (F_V)_M \sin C_s \cos C_s - (F_T)_M \sin C_s \quad (32)$$

(二) 實驗方法與步驟

理論上切削狀況會因為刀具的幾何形狀不同及刀角的變化而有所改變，為了證明其理論是否正確，因此做了此項研究。我們的實驗方法是把中碳鋼工件 (S45C)，其直徑約為 $\phi 65\text{mm}$ 長度約 500mm ，夾於高速車床 (台中精機，型號為 Victor 400 * 750) 的夾頭上，並把動力計 (Kistler-9257B) 裝於車床複式刀座上，將紅外線溫度感測儀的量測位置對準刀尖，並開始車削。再用動力計來量測切削時三軸切削力，即垂直切削力 (F_V)，橫向切削力 (F_T) 及水平切削力 (F_H)。動力計的作用在於將切削力的類比信號搜集後，經過電荷放大器 (amplifier) 和資料搜集軟體 A/D 轉換器 (Metro Byte-STA20)，以便可計算並顯示出三軸的切削力。實驗中並利用紅外線溫度感測儀來量測車削時刀尖的溫度，最後將所有的資料加以整理並作分析，如圖 7 所示。

由以上步驟可知此實驗的方法是以碳化物刀具 P20[14] 的車刀胚料，將其置於工具磨床上磨成不同的切邊角 (C_s) 及刀鼻半徑 (R)，如表一來車削中碳鋼，並以不同的切削深度來比較切削時所受之切削力大小及刀尖溫度的變化，最後以數學計算公式配合電腦模擬以求出切削力的理論值及修正值，再與實際切削值比較，以驗證其正確性。

(三) 實驗及車削條件

- 1、乾切 (不加切削劑)；
- 2、車床轉數 $N=700\text{rpm}$ ；
- 3、切削深度 $d = 0.5、1.0、1.5$ 及 2.0 mm ；
- 4、進給率 $f = 0.359\text{mm/rev}$ 。

三、結果與討論

(一) 切屑的形狀

從先前的資料得知，不同的刀具及其幾何形狀則會產生不同形狀的切屑，本研究 (實驗) 即以四種不同切邊角 (C_s) 和端切角 (C_e) 車刀，在相同的切削條件下將切屑搜集後作如下的判斷，如圖 8 所示。

- 1、由圖 8(b)、8(d) 顯示，切屑形狀不捲曲，在切削時容易傷害到機具和操做人員。
- 2、圖 8(f)、8(h) 顯示，切屑成捲曲狀，在切削時切屑到達一定的長度會自動的斷屑，由此顯示切邊角 30° 、 40° 的車刀為一較適合的切屑斷裂角度。

(二) 三維切削力

依照前述第二章理論探討公式(7)到(14)中可計算出切削時剪切面積, A_s 和刀具與工件所接觸的面積, Q ，得到這兩個面積後就可運用公式(1)到(6)計算出每單位時間所消耗的剪切能 U_s 和每單位時間所消耗的摩擦能 U_f 。公式(14)-(15)可計算出理論水平切削力(即切線力 $(F_H)_{\min}$)。而理論垂直切削力(即進給力 F_V)和理論橫向切削力(即徑向力 F_T)，則可利用公式

(16)-(19)計算式中算出。在圖 6 中，當 $C_s \neq 0$ 的情況下，考慮刀腹摩擦和犁入力的影響則修正後的三軸切削力量， F_{HH} ， F_{VV} 和 F_{TT} ，如公式(20)至(32)所示。圖 9(a-c)為電腦模擬結果及實驗所量測出的 F_{HH} 、 F_{VV} 和 F_{TT} 之比較圖。我們根據上項結果作出下列的判斷：

- 1、修正後的理論值與實驗值很接近。
- 2、在圖 9(a)到(c)中，我們可以看出 C_s 約在 30° 的時候，其切削力 F_{HH} 較小，雖然 F_{VV} 與 F_{TT} 比起 C_s 在其它角度時有大亦有小，但三軸切削力個別平方後相加再開平方根，其合成後的總切削力仍較小。此乃由於的 C_s 約在 30° 時的剪切面積較小，刀具與工件的接觸長度也較短的緣故，即 C_s 約為 30° 時是一理想的切邊角。
- 3、就以電腦模擬值與實驗值比較來說，發現刀腹摩擦所增加的能量是要加權在電腦模擬值的部份，否則將會與實驗值相差較多。
- 4、切削深度與切削速度也是增加切削力的重要因素。

(三)工件表面粗糙度

圖 10(a)是不同切邊角的車刀所車出來的工件其表面粗糙度的數據表，從圖 10(b)中可以看出切邊角 C_s 為 30° 及 40° 時的表面粗糙度較小，而在 10° 時所車削出來的表面粗糙度較大。

(四)刀尖溫度

- 1、從圖 11 中，當切邊角 $C_s = 30^\circ$ 時刀尖的溫度較低，所以 $C_s = 30^\circ$ 是一理想的角度。
- 2、另外從圖 11 中也可以看出當切削深度越深時，刀尖的溫度越高。溫度越高將會使刀具損壞愈快直接也使工件的表面粗糙度惡化，因此車削工件深度愈深時，最好加上切削劑以降低溫度。

四、結論

經過實驗得到了一些數據，把切削結果的實驗值和電腦模擬的理論值相比，結果相差較大，但是我們若把刀腹磨耗及犁入力的影響考慮進去時，兩者的差異則很接近。若比較切削力、刀尖溫度及工件的表面粗糙度或切屑形狀時，則發現當車刀之切邊角約為 30° 時是一很合適的刀角。

五、名詞術語

	摩擦角(friction angle)
c	切屑流動角(chip flow angle)
C_s	邊切角(side cutting edge angle)
C_e	端切角(end cutting edge angle)
e	有效剪切角(effective shear angle)
i	傾斜角(inclination angle)
d	切深(depth of cut, mm)
L_f	工件與刀具之接觸長度(length of contact between tool and workpiece, mm)
L_p	工件與刀具接觸之投影長度(projected length of contact between tool and workpiece)
A	剪切面積(area of shear plane, mm ²)
Q	刀面在切削工件部分之投影面積，即摩擦面積(the projected area of cutting section on the tool face, mm ²)

V_b	刀腹磨耗量 (flank wear, mm)
R	刀鼻半徑(nose radius, mm)
r	刀刃邊緣半徑(cutting edge radius, mm)
V	切削速度(cutting velocity, m/min)
V_S	剪切速度(shear velocity, m/min)
V_C	切屑流動速度(chip velocity , m/min)
σ_y	降服正向應力(yield normal stress, N/mm ²)
τ_y	降服剪應力(yield shear stress , N/mm ²)
F_p	犁入力(plowing force, N)
F_w	因磨耗增加的力(additional force due to wear, N)
N_t	正向力(normal force, N)
F_t	摩擦力(friction force, N)
F_H	理論水平切削力(即切線力, theoretical horizontal cutting force, N)
$(F_H)_M$	修正後的水平切削力(modified F_H)
F_{HH}	最終修正後之水平切削力(finial modified horizontal cutting force)
F_V	理論垂直切削力(即進給力, theoretical vertical cutting force, N)
$(F_V)_M$	修正後的垂直切削力(modified F_V)
F_{VV}	最終修正後之垂直切削力(finial modified vertical cutting force)
F_T	理論橫向切削力(即徑向力, theoretical transverse cutting force)
$(F_T)_M$	修正後的橫向切削力(modified F_T)
F_{TT}	最終修正後之橫向切削力(finial modified horizontal cutting force)
U_S	剪切能(shear energy, N-m)
U_f	摩擦能(friction energy, N-m)
t	刀腹磨耗長度(flank wear length, mm)
σ_s	剪應力(shear stress, N/mm ²)

六、參考文獻

1. C.S. Chang (1995), "Prediction of the Cutting Forces for Chamfered Main Cutting Edge Tools", Int. J. Machine Tools and Manufacture, Design, Research, and Application, Vol. 35, pp. 1559-1586.
2. C.S. Chang and K.H. Fuh (1998), "An Experimental Study of the Chip Flow of Chamfered Main Cutting Edge Tools", J. of Materials Processing Technology, Vol. 73, pp. 167-178.
3. C.S. Chang (2000), "A Study of High Efficiency Face Milling Tools ", J. of Materials Processing Technology, Vol. 100, pp. 12-29.
4. 許彥夫、楊純智譯 (1994), Geoffrey Boothroyd 原著, 金屬切削原理與工具機, 第 63-78 頁, 復文書局, 台北。
5. 趙芝眉、湯銘權 (1989), 金屬切削原理, 第 42-59 頁, 科技圖書公司印行, 台北市。
6. C. Donaldson, G.H. LeCain and V.C. Goold, (1996), Tool Design : Single-point Cutting Tools, pp. 210-344, Tata McGraw-Hill , Publishing Company Limited, New Delhi , 22nd reprint.

7. 蔡德藏 (1997) , 碳化物刀具之選擇磨削與應用, 第 45-62 頁, 全華書局, 台北。
8. 李阿卻 (1994) , 切削刀具學, 第 65-77 頁, 全華書局, 台北。
9. E. Usul, A. Hirota and M. Masuko (1978), "Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process : Part 1, 2", Trans. of the ASME , Vol. 100 , pp. 222-235。
10. M.C. Shaw (1984), Metal Cutting Principles, pp. 428-450, Oxford University Press, New York, U.S.A.。
11. G.V. Reklaitis, A. Ravindran and K.M Ragsdell (1984), Region-Elimination Method: Engineering Optimization, Methods and Application, pp37-46, Wiley-Interscience, U.S.A.。
12. K.H. Fuh (1986), "Prediction of Three-dimensional Cutting Forces of Double Edge Cutting Process: Part 1,2 ", Journal of Tatung, Vol. 16, pp. 83-107。
13. N.H. Cook (1969), The Mechanics of Chip Formation in Manufacturing Analysis, pp. 31-37, Addison-Wesley, Reading, MA. U.S.A.。
14. K.J. Brookes (1987), International Carbide data: Part 1 Handbook, pp. 10-15, United Kingdom。

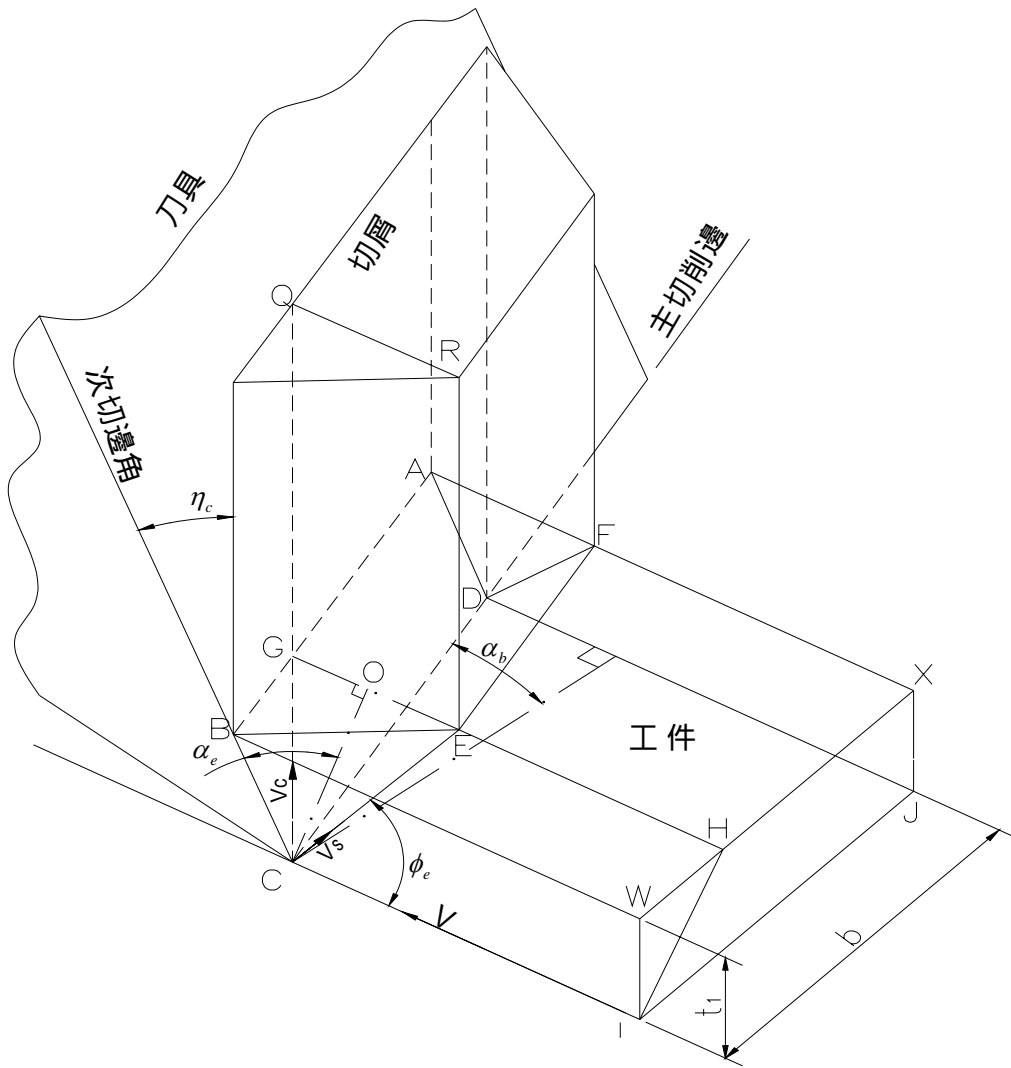


圖 1 車刀車削時其基本力學模式圖

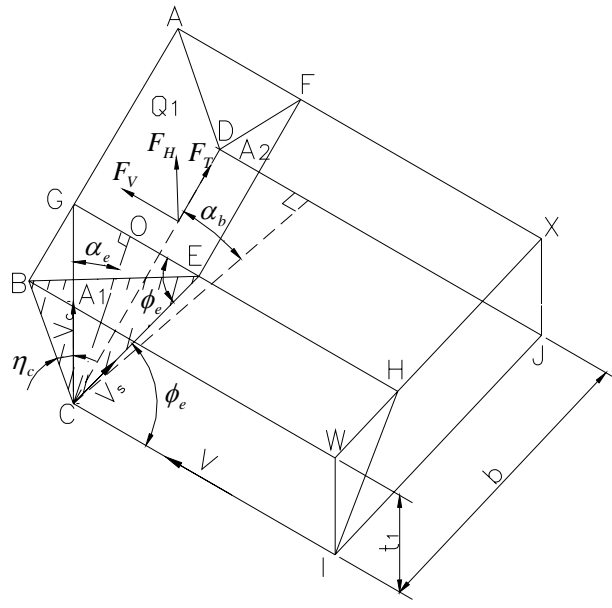


圖 2 車削時基本力學模式詳細圖

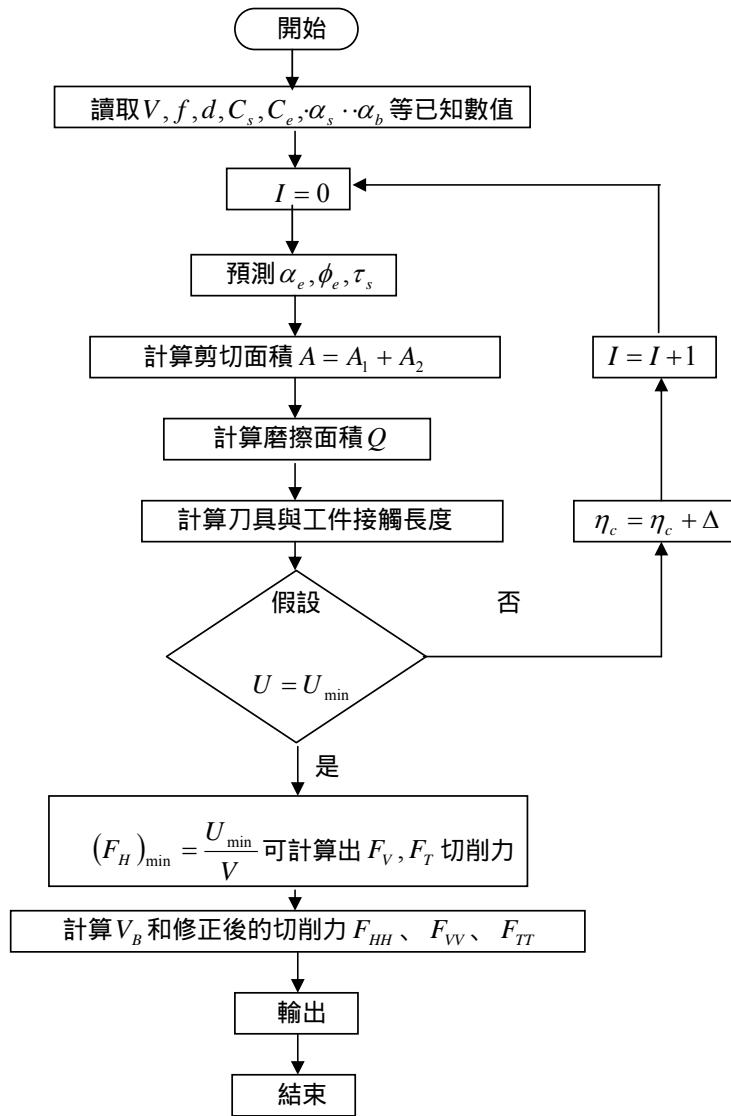


圖 3. 電腦模擬系統流程圖

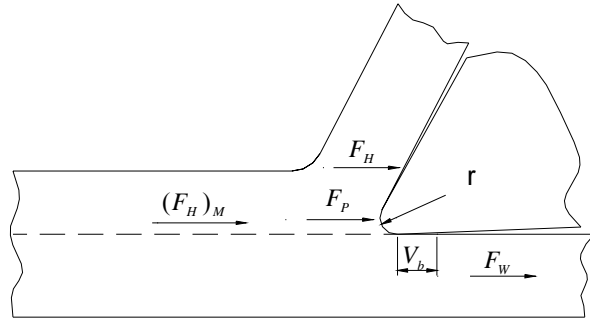
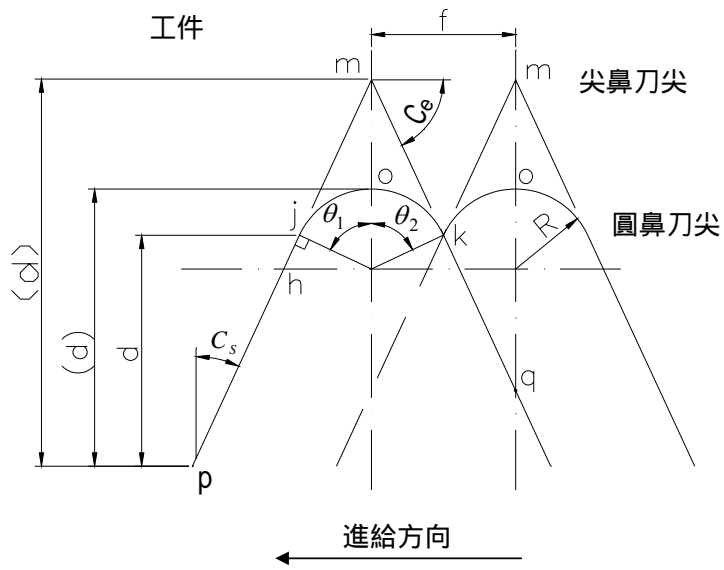
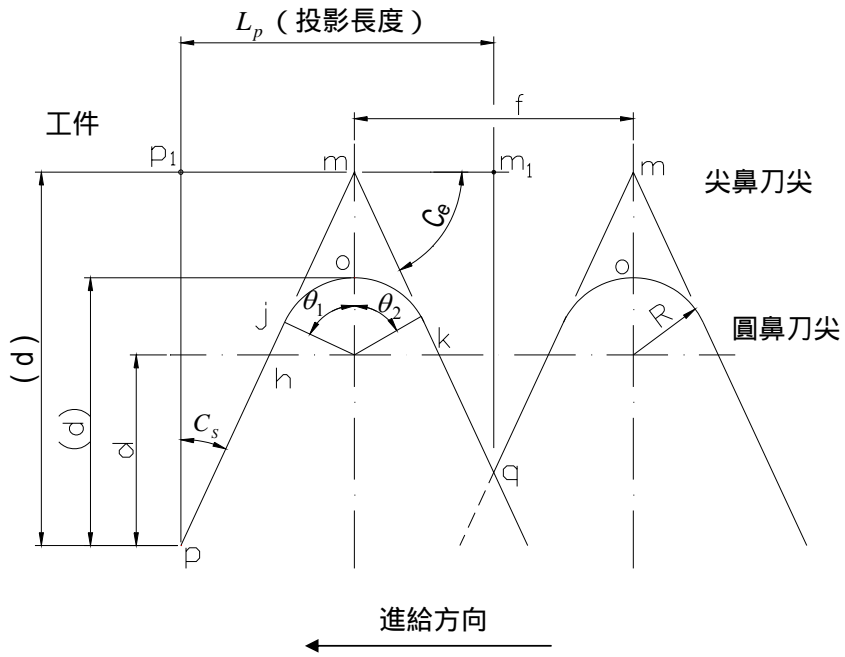


圖 4. 切削時刀具所承受修正後的水平分力 $(F_H)_M$ 以及刀腹摩擦 V_b 詳圖



(a) 工件與刀具之接觸長度 L_f ($L_f = \overline{pm} + \overline{mk}$, $R = 0$)



(b) 為工件與刀具接觸時其投影長度 ($L_p = \overline{p_1m} + \overline{mm_1}$, $R = 0$)

圖 5 刀具刀鼻與工件所接觸的長度解析圖 L_p 投影長度

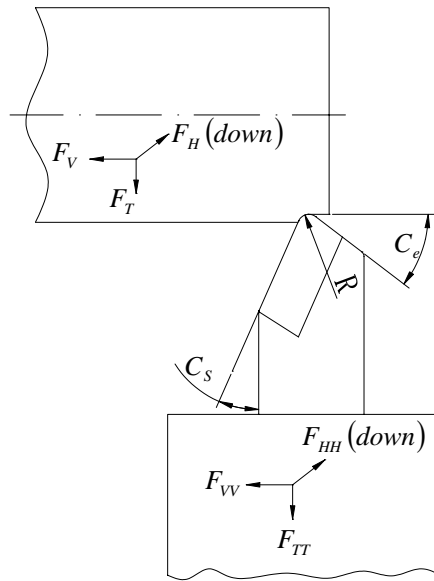
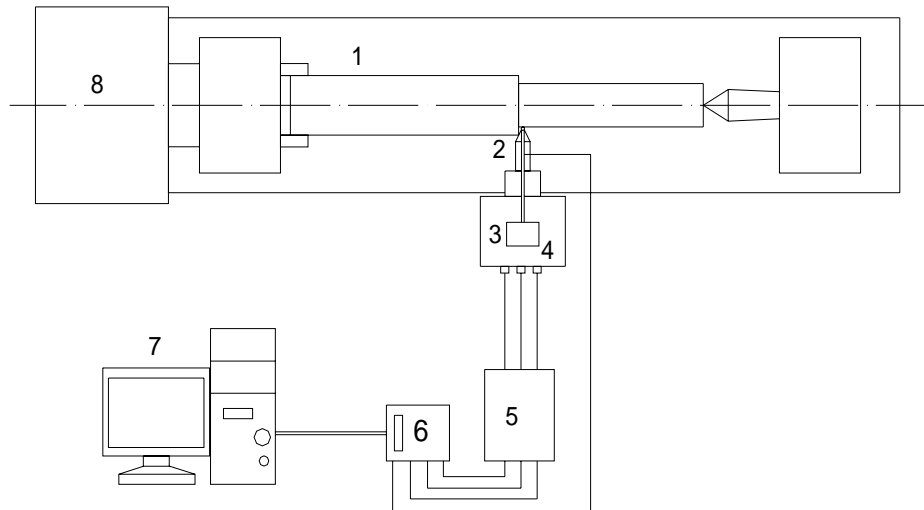


圖 6 車削時最後修正後的切削力分佈圖



1. 工件(S45C 的中碳鋼, 65mm, 長度 500mm); 2. 碳化物車刀(P20); 3. 動力計(瑞士製 Kistler-9257B); 4. 紅外線溫度量測儀; 5. 電荷放大器; 6. 接線盒; 7. 電腦及資料搜集軟體;
8. 高速車床(台中精機 Victor 400 * 750)

註解:

圖 7 研究設備及實驗配置

表一 刀具幾何形狀

切邊角(C_s)	刀具號碼	刀端角(C_e)	刀鼻半徑 R	
10°	1	20°	0 及 0.2mm	
20°	2	30°	0 及 0.2mm	
30°	3	40°	0 及 0.2mm	
40°	4	50°	0 及 0.2mm	

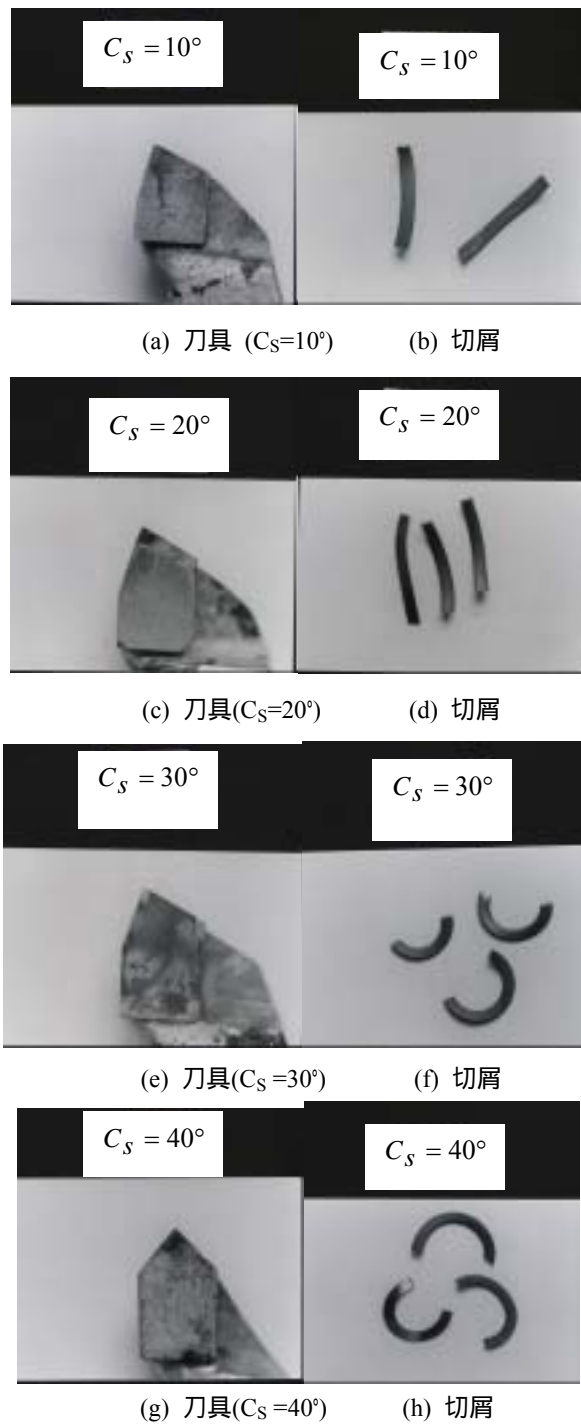
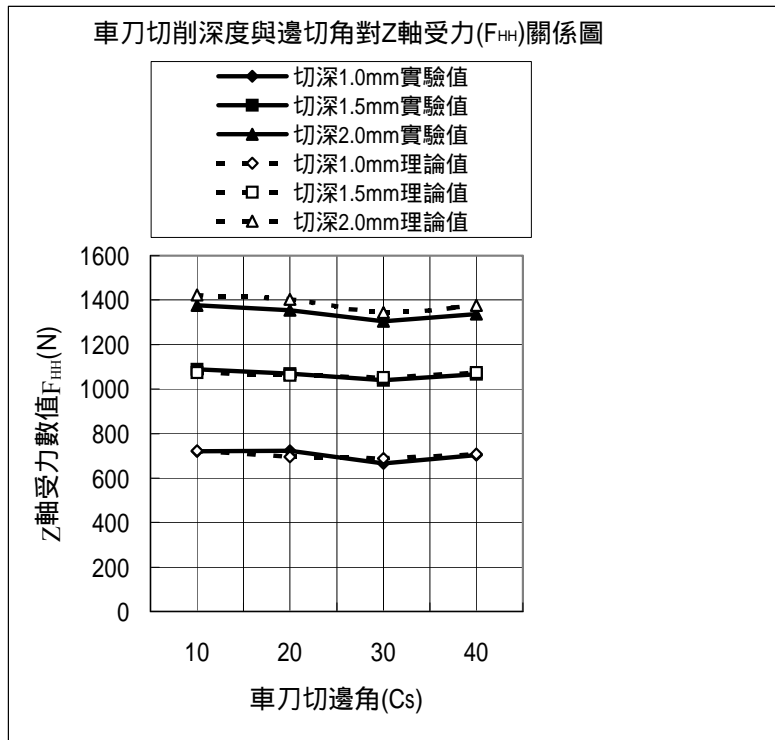
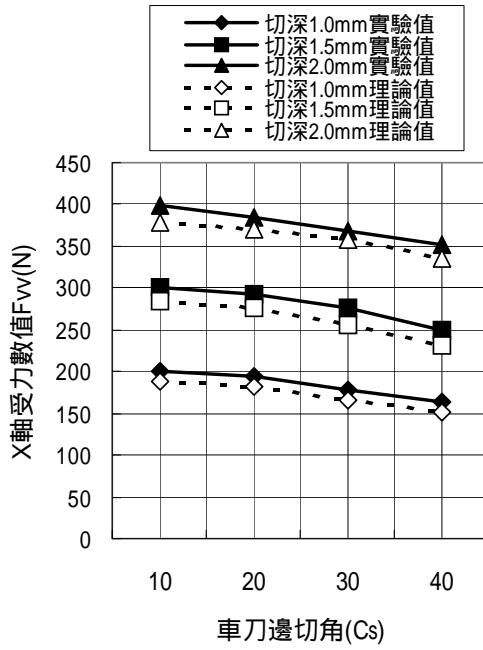


圖 8 刀具和切屑，當 $f=0.359\text{mm/rev}$ ， $d=2\text{mm}$ ， $V=131\text{m/min}$ ，刀鼻半徑 $R=0.2\text{mm}$

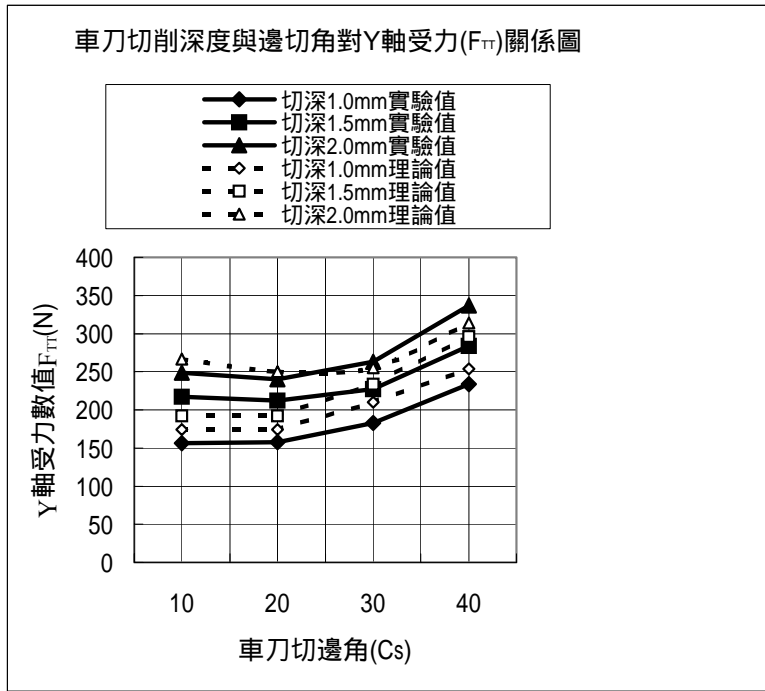


(a)

車刀切削深度-邊切角-X軸受力關係圖



(b)

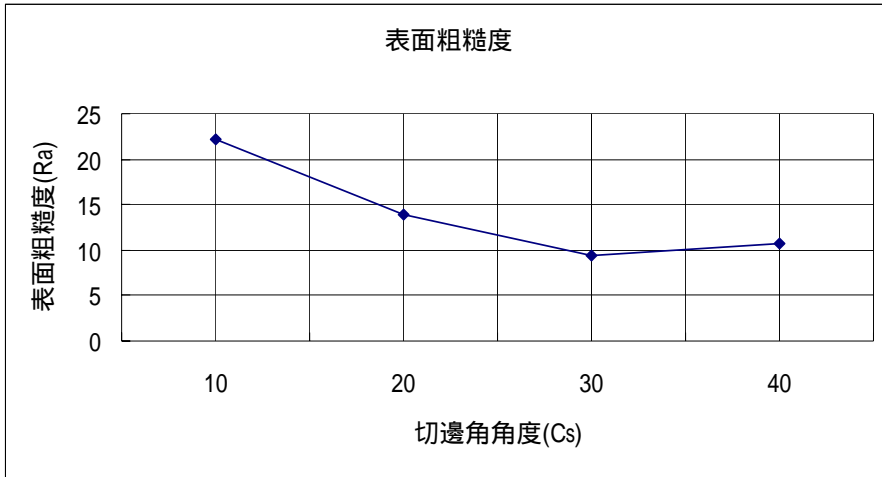


(c)

圖 9 切削力圖 (a)水平切削力(F_{HH})，(b)垂直切削力力(F_{VV})，及(c)橫向切削力(F_{TT})，當 $f = 0.359\text{mm/rev}$ ，而刀鼻半徑 $R=0.2\text{mm}$

粗糙度 切邊	中心線平均粗糙度(R_a),單位 μm	最大高度粗糙度(R_{max}),單位 μm
切邊角 10°	22.18	83.78
切邊角 20°	14.54	62.46
切邊角 30°	9.7	37.2
切邊角 40°	10.04	47.52

(a)



(b)

圖 10 表面粗糙度當 $f = 0.359\text{mm/rev}$, $V = 131\text{m/min}$ 及 $d = 2\text{mm}$ (a) $R = 0.2\text{mm}$ 及 (b) $R = 0.2\text{mm}$

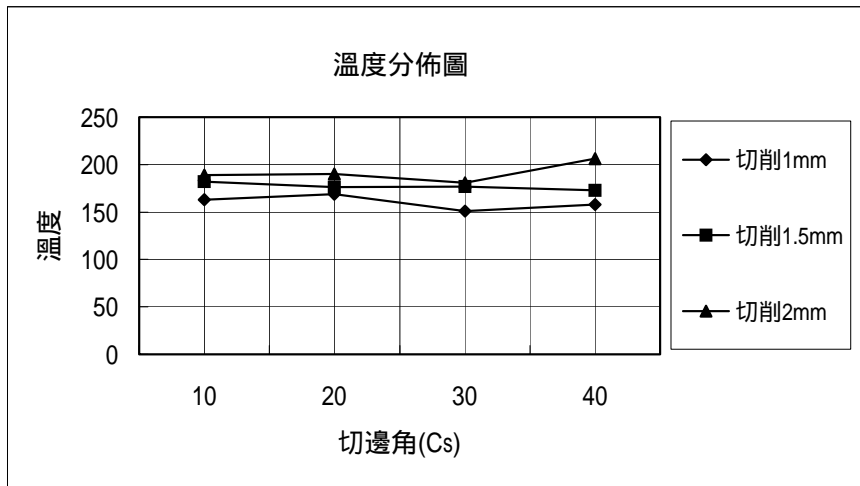


圖 11 車刀刀尖溫度分佈圖，當 $f = 0.359\text{mm/rev}$, $V = 131\text{m/min}$ 而 $R = 0.2\text{mm}$

題目：碳化鎢車刀車削中碳鋼之研究

作者：張充鑫¹ 陳大智² 施正哲³ 陳昭宇⁴ 朱彥霖⁵ 簡肇信⁶

審查意見表：第 7. 其他建議改進事項答覆如下：請鑑核，謝謝。

1. 英文摘要已配合中文修改。
2. Equ.(5)中， Q (摩擦面積)之意義改提前至 p.3, line 15 式子(6)後面說明，即(式中 Q 為刀具切削時與工件接觸的摩擦面積)。至於 α_s 也提前在 P3 第 18 行說明，(即 α_s 為切屑在與刀面接觸時的摩擦角)，P. 4, 式子(13)下一行即第 12 行改成 Q 為摩擦面積，即梯形的面積 ABCD
3. Equ. (7) 中之 α_s 改在 P.15 表一標示。即 P. 3, line 21 中改成 α_s 為邊斜角，如表一所示。
4. 有關 P.7 圖 9 之判斷 2 說明如下：
 - (1). P. 17,18 及 19, 圖 9(a), (b) 及(c)已稍作修正;
 - (2). 判斷 2 修改在 P. 7 第 8, 9 及 10 行說明如右(.....其切削力 F_{HH} 較小，雖然 F_{VV} 與 F_{TT} 比起 C_s 在其它角度時有大亦有小，但三軸切削力個別平方後相加再開平方根，其合成後的總切削力仍較小)。請 Check, 謝謝。
5. p. 7, 圖 12 已改為圖 11。謝謝指正。
6. p. 15, 表一已修正並標示 α_s 與 α_b 。謝謝指正。
7. p. 13 及 p. 14, 圖 5(a)及(b)已作修正，請 check 謝謝。至於式子 L_f 及 L_p 改寫成如 P.5, line 15 之式(22)及 line 18 之式(25)所示，即：
$$L_f = \overline{pm} + \overline{mk} = \frac{d}{\cos C_s} + \frac{f \cos C_s}{\cos(C_e - C_s) \cos \alpha_s} \quad (\text{當刀尖 } R = 0 \text{ 時}) \quad (22)$$
$$L_p = \overline{p_1m} + \overline{m_1m} = \frac{d}{\cos C_s} \sin C_s + \frac{f \cos C_s \cos C_e}{\cos(C_s - C_e) \cos \alpha_s} \quad (\text{當刀尖 } R = 0 \text{ 時}) \quad (25)$$
且 p. 5, line 23 加上(..... 其長度 L_f 與 L_p 可分別由式子(22)及(25)計算出來。)
8. P. 16, 圖 8(a)刀具之 $C_s=10^\circ$ ，已修正，謝謝。

