

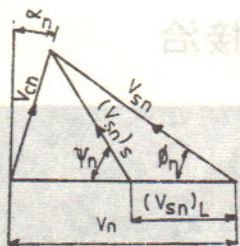
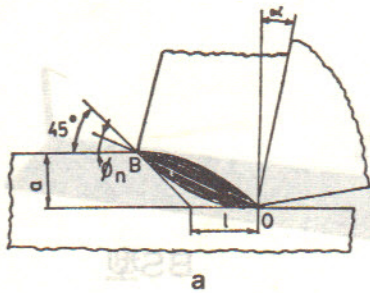
斜角切削的力學溫度刀具耐用度 及工件硬化的新研究 (二)

Venuvinod K.Patri* 與劉偉成**

三、斜角切削的新理論

斜角切削的研究一向建立在“單剪切面”的概念上。Connally與Rubenstein [23] 利用滑移綫構成一個剪切區，作出了直角切削的力學計算。這套理論簡化了剪切區的複雜幾何形狀，同時實驗證實了它的可靠性，故此本文試圖把這一理論擴展到斜角切削上來。

3.1 Connally與Rubenstein的直角切削示意圖如圖 (3.1a)，從圖可見為切削時變形區的形狀。這變形區的邊界相當於滑移綫。



OB是變形區的下邊界。這滑移綫的開端與待切削面成45度角而逐漸轉向刀刃，為簡化起見，假設這滑移綫為直綫，則BAO便會成為這剪切區的下邊界的簡化形狀。BA與S平面，而OA為L平面。利用滑移綫的特點可計算出這兩個平面的應力分布，進而算出切削力。L面的長度 \$l\$ 是一個作用極強的參數，其作用相當於Merchant [24] 的剪切角 ϕ 。

3.2 斜角切削理論的建立

刀具刃傾角產生的基本影響是改變基本變形區裏滑移面的方向。在擴展Connally and Rubenstein的切削理論至斜角切削時，可在S及L面的原來平面上，再加上一橫向滑移力。這與Merchant考慮到刀具刃傾角的影響而在以往剪切面上加進一橫向滑移面的分析方法是一樣的 [1]。但這樣做，真正的滑移綫却在S面上成一偏斜角度，如保持平面S與切削面間成一45度夾角，則滑移綫與空間平面的交角小於45度；所以平面S的方向亦隨着改變。

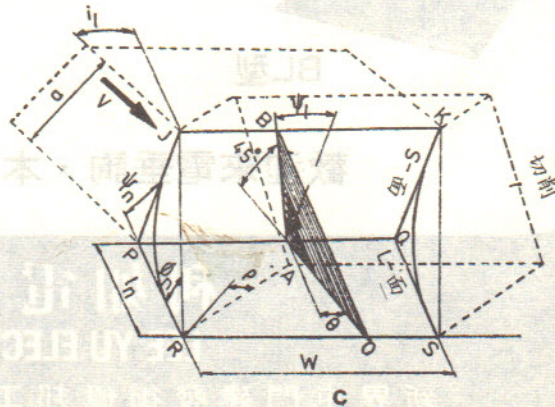


圖3.1 斜角切削的變形區

圖(3.1b)說明這新斜角切削變形區域的基本特徵。 RS 是切削刃。平面 $RJKS$ 是假設剪切面。曲面 $RJKS$ 是要研究的滑移面，從曲面 $RJKS$ 的兩端各作一與 $RJKS$ 曲面相切的平面即 $PJKQ$ (S 平面)與 $PQSR$ (L 平面)。 S 平面與切削面之間的夾角在法平面①中量度為 ϕ_n 。平面 L 則與切削面重疊。 S 面與 L 面的交線為 PQ ， l_n 是 L 平面在法平面內量度的長度。

假設剪切在曲面 $RJKS$ 上沿着曲線 OB 的方向產生，為簡單起見，假設曲線 OB 在一垂直於切削面的平面上。這一平面與法平面之間的夾角為 θ ，如從 L 平面觀察，則此夾角 θ 為橫向剪切角，而夾角 ϕ_n 則為 S 平面上的橫向剪切角。在 S 平面上觀察，如在剪切方向畫一切綫 AB ，則這一切綫與切削面間應為 45° 。從圖(3.1c)所示的幾何關係可以得到以下的方程式：

$$\tan \phi_n = \sec \theta \text{ 或 } \operatorname{cosec} \phi_n = (1 + \cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

$$\sin \phi_1 = \sin \theta / \sqrt{2} \quad (3.2)$$

$$\text{及 } l_n = a(\cos \phi_n - \cos \theta) \quad (3.3)$$

ϕ_n 在法平面上量度的剪切角。可以從下列切屑收縮比 a_c/a 的關係中求得。

$$\tan \phi_n = \frac{\cos \alpha_n}{a_c/a - \sin \alpha_n} \quad (3.4)$$

S 平面與 L 平面的面積為：

$$A_s = \alpha W(1 + \cos^2 \theta)^{1/2} \quad (3.5)$$

$$A_r = \alpha W(\cot \phi_n - \cos \theta) \quad (3.6)$$

從上式中可注意到夾角 $\phi_n \geq 45^\circ$ 。在直角切削時。夾角 $\theta = 0^\circ$ 及 $\phi_n = 45^\circ$ ， l_n 是極重要的參數，它相當於直角切削時的 l ，同時，因 θ 包括了刃傾角 i 的作用，故此 l_n 亦間接包含了刃傾角 i 的影響。

由於平面 S 只伸展到空間平面為止，所以在此平面上的垂直應力都應該等於工件材料的屈服應力。從應力及平面面積 A_s 的乘積，可得到切力 S_s 及法向力 N_s 。這些力可分為法向應力(S_{sn} , N_{sn})、橫向應力(S_{se})及推力的切向分力(S_{sy} , N_{sy})。由於 L 平面為一滑移面，所以在平面上的切應力也為 τ_s ，但其平均法向應力 P' 為未知數。從切應力及平面面積 AL 的乘積，亦可得到其切向力(S_L)及法向力(N_L)。這些力可再分為垂着應力(S_{Ln})、橫向應力(S_{Le})和推力(N_L)分力。從上述適當分應力之和，可得切削力 P_n' 、 P_e 、 P_y 。

簡化後，可得以下的方程式：

$$P_n' = S_{sn} + N_{sn} + S_{Ln} \\ = \tau_s A_s \cos 45^\circ \cos \theta + \tau_s A_s \sin \phi_n + \tau_n A_L \cos \theta$$

$$= \tau_s \alpha W \left[\sin^2 \theta + \cos \theta \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right. \\ \left. \cot \phi_n \cos \theta \right] \quad (3.7)$$

$$P_l' = S_{sl} + S_{Ll} \\ = \tau_s A_s \cos 45^\circ \sin \theta + \tau_s A_L \sin \theta \\ = \tau_s \alpha W \sin \theta \left[\left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)^{\frac{1}{2}} - \cos \theta + \cot \phi_n \right] \quad (3.8)$$

$$P_y' = S_{sy} + N_{sy} + N_L \\ = \tau_s A_s \sin 45^\circ + \tau_s A_s \cos \phi_n + P A_L \\ = \alpha W \left[P(\cot \phi_n - \cos \theta) - \tau_s \cos \theta - \tau_s \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.9)$$

參數 θ 可從式(3.8)除式(3.7)中得到：

$$\frac{P_n'}{P_l'} = \frac{\sin^2 \theta + \cos \theta \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \cot \phi_n \cos \theta}{\sin \theta \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)^{\frac{1}{2}} - \cos \theta + \cot \phi_n} \quad (3.10)$$

稍後可從實驗中證得 $\theta = i$ 將此參數代入式(3.7)中可得以下方程式

$$P_n' = \tau_s \alpha W \left[\sin^2 i + \cos i \left(\frac{1 + \cos^2 i}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + \cot \phi_n \cos i \right] \quad (3.11)$$

在實際情形中，利用式(3.11)估計法向應力 P_n' 會像用式(3.7)一樣可靠。如果式(3.8)中的夾角 θ 用 i 代入，則計算出來的實驗數據的差異便會很大。

3.3 切削理論在實驗數據方面的應用及討論

前面提及的斜角切削理論曾經用過多種不同的已發表的實驗數據加以檢驗，以驗證上述分析中所作假設的正確性及所得方程式的準確性，但以下只討論幾個標準的結果。

理論計算出來的 S 值應等於材料的屈服應力。在等式3.7及3.11中，如以‘ S ’的系數與分力 F_n 作一圖，如果‘ S ’的大小為恒定，及切削刃與後刀面磨損量沒有很大的變化，則可預料所有數據點成一直綫排列，而且此直綫的斜率應顯示出‘ S ’的大小。而 F_n 軸上的交點，則表示切削刃鈍圓半徑及後刀面的影響。

圖3.2至3.5所示的直綫是分別根據[25、26、27]的數據繪製成的。在這三種情況下，所有數據點都位於所畫直綫的附近，而其‘ S ’的大小都能合理地顯示出工件材料受到的加工硬化。

在這些圖中，圖3.2至3.4的實驗是在大範圍的切削速度下完成的(2.5—746呎/分鐘)前角為 -10° 至 36° ，傾角為 $0-60^\circ$ 及切削厚度0.002"—0.012"。這證明了斜角切削模式在一較大範圍的切削條件及刀具角度下的正確性。

注①法平面是垂直於切削刃的平面

②這裏的 α_n 是ISO的法向前角 γ_n

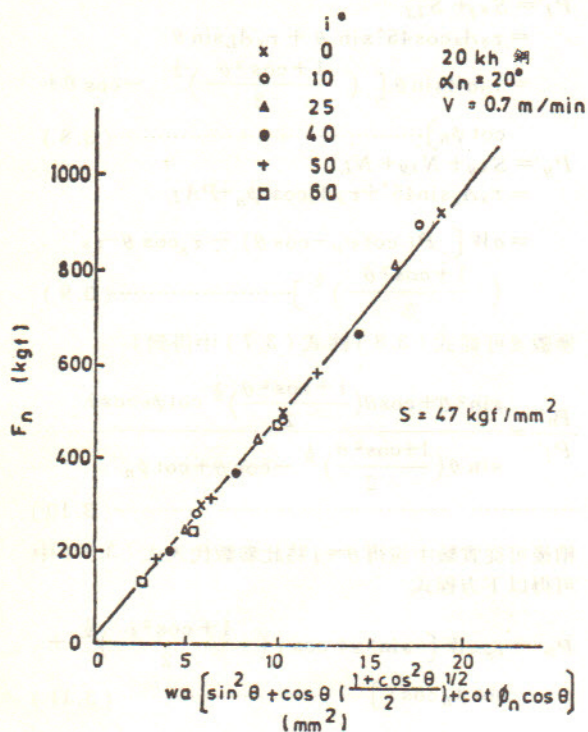


圖3.2 公式3.7的 S 值 (數據取自 [25])

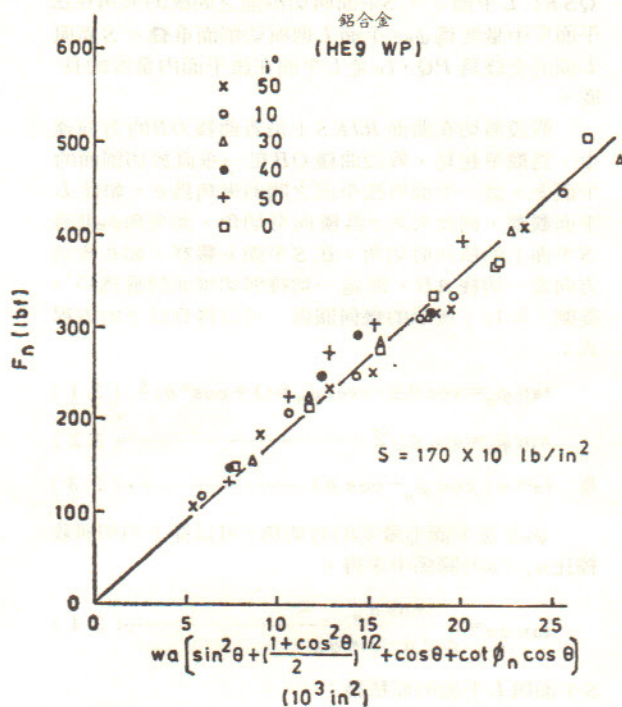


圖3.4 公式3.7的 S 值 (數據取自 [27])

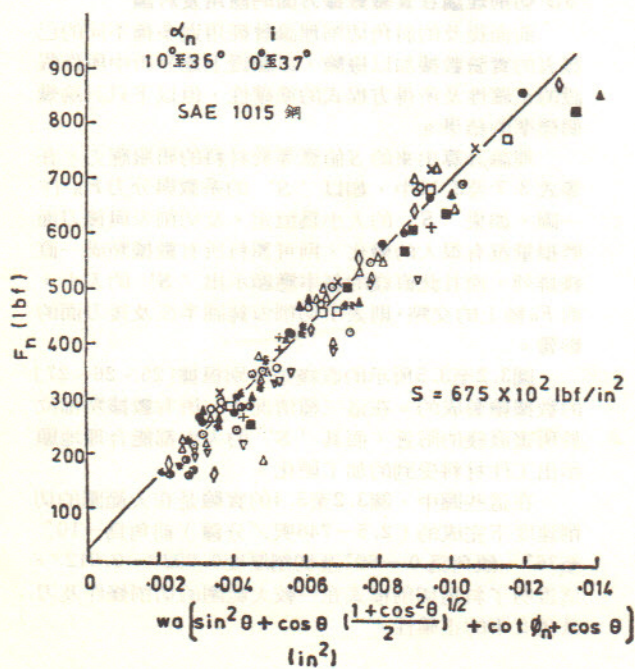


圖3.3 公式3.7的 S 值 (數據取自 [26])

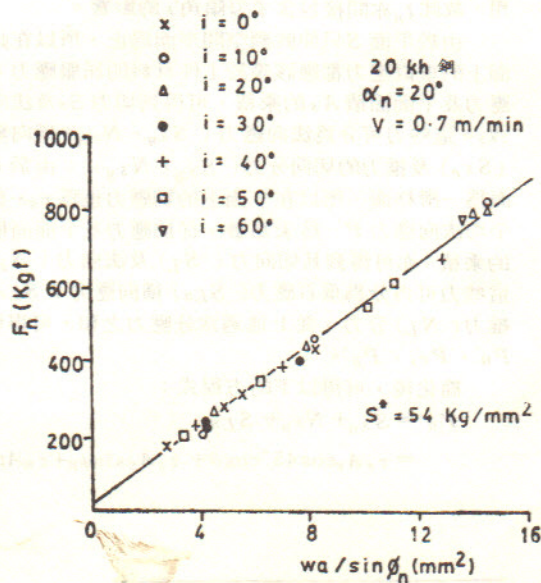


圖3.5 公式3.7的 S^* 值 (數據取自 [25])

在Merchant剪切面上的應力為：

$$F_s = \left[(F_n \cos \phi_n - F_z \sin \phi_n)^2 + F_t^2 \right]^{1/2} \dots (3.12)$$

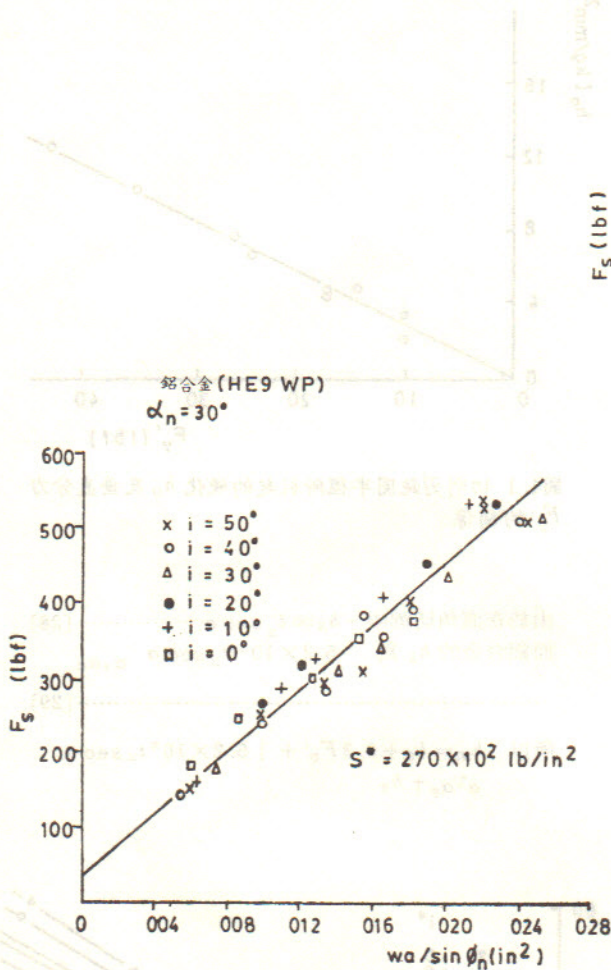


圖3.7 公式 (3.12) 的 S^* 值 (數據取自 [27])

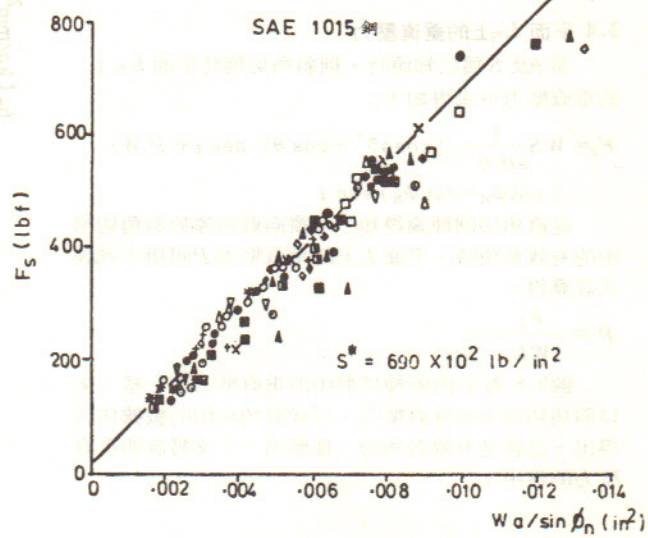


圖3.6 公式 (3.12) 的 S^* 值 (數據取自 [26])

從Merchant剪切面上的切應力 S^* 的大小 (利用 $w t_1 / \sin \phi_n$ 計算) 所得直線的傾斜度便可計算出來。圖3.5至3.7是根據 [25、26、27] 的數據繪製而成。將這些圖和圖3.2至3.4作一比較, 可發覺其分散程度和圖3.5至3.7的一樣, 而且還發現 S 之值, 通常都比 S^* 小, 這說明了所分析的滑移線是在第一變形區裏較低範圍中, 而不是在Merchant的剪切面上, 故此應比Merchant的單剪切面分析方法更為有用。

圖3.8表示從 [25、26、27] 的數據所得到的 θ 與 i 的相對變化。從圖看出：

- 1) θ 總比 i 小；
- 2) $(i - \theta)$ 之差隨着 i 而增加；
- 3) 甚至以傾角大至 50° 時, $(i - \theta)$ 仍在 7° 至 10° 之間。

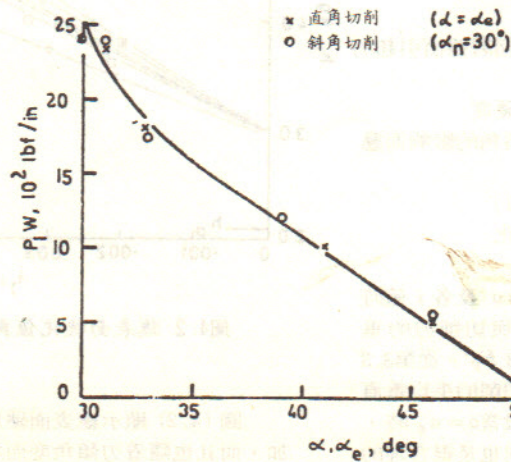


圖3.8 斜角切削與直角切削 (當 $\alpha = \alpha_e$ 時) 垂直壓力 $P_1 W$ 的比較

3.4 平面 L_n 上的垂直壓力

當 θ 及 S 為已知值時，則斜角切削時平面 L_n 上的垂直壓力可求得如下：

$$F_2 = WS \frac{t}{\sin \theta} [\cos 45^\circ - \cos \theta] \sec i + P_1 W t$$

$$(\cot \phi_n - \cot \phi_n) \sec i$$

從直角切削理論得知，令縱向前角等於斜角切削中的有效前角時，平面 L 上的垂直壓力 P_1 可用下列等式計算得。

$$P_1 = \frac{F_1}{WL}$$

圖3.8 表示出兩種情形中的垂直壓力都一樣，所以斜角切削中的垂直壓力，可從直角切削的數據估計得出，這就是有效前角的一種應用。下文將說明垂直壓力的應用。

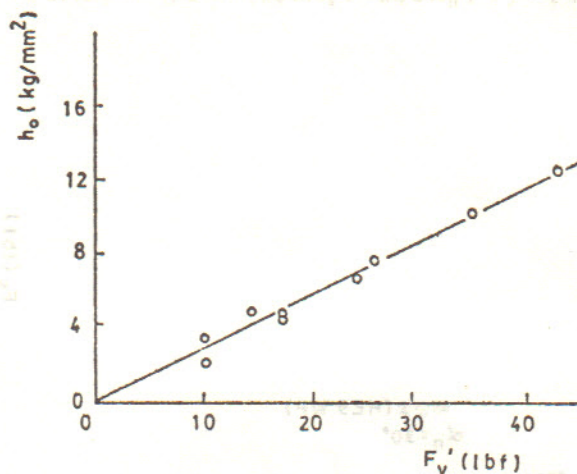


圖4.1 切削刃鈍圓半徑所引起的硬化 h_o 及垂直分力 F_v' 的關係

由於在直角切削中， $h_s \propto t_2 \sec \alpha$ [28]

而鋁合金的 h_s 為 $5.2 \times 10^3 t_2 \sec \alpha \alpha_e$

[29]

所以 $h_m = h_a + 0.3 F_v' + 5.2 \times 10^3 t_2 \sec \alpha$
 $\alpha_e \alpha_r$

四、斜角切削的加工硬化

在早期的發表 [28, 29]，說明了斜角切削中加工硬化的成因為：

- 1) 切削刃前面的抗拉應力。
- 2) 切削刃鈍圓半徑及後刀面磨損帶來的影響。

當金屬的伸長量超過了彈性極限時，它便會受到加工硬化。曾經受加工硬化的金屬，即使在完全放鬆後，其硬度也不會回復至原來的值。這增加的硬度只能在再結晶過程中消失。如一經加工硬化的材料再受拉延，則此材料將會進一步硬化。假設加工硬化硬度與伸長量為綫性關係，所得的加工硬度應為在兩個伸長過程中所得的硬度總和。所以假設加工硬化是可以疊加的也是合理的。即：

$$h_m = h_a + h_o + h_s$$

h_m = 總硬度

式中 h_a = 材料的硬度

h_o = 因切削刃鈍圓半徑與加工面磨擦而引起的硬度

h_s = 刀刀前方抗拉應力引起的硬度

以上的關係，可發展至包括刀具斜角的影响而應用在斜刀切削方面；

因此 $h_m = h_a + h_o + h_s + h_r \dots (4.1)$

式中 h_r = 橫向切應力引起的加工硬化

h_o 可從 $h_m v_s t$ 的圖表中，在 $t=0$ 及各 i 值時得到。圖 (4.1) 說明從實驗得到的 h_o 與切削刃的垂直分力的關係。可知鋁合金的 $h_o = 0.3 F_v'$ 。從第3.3節中，可用實驗證實當 $\alpha = \alpha_e$ ，斜角切削的平均垂直壓力 P 與直角切削的相同。所以，假設當 $\alpha = \alpha_e$ 時，斜角切削的 h_s 與直角切削的影响相同也是很合理的。

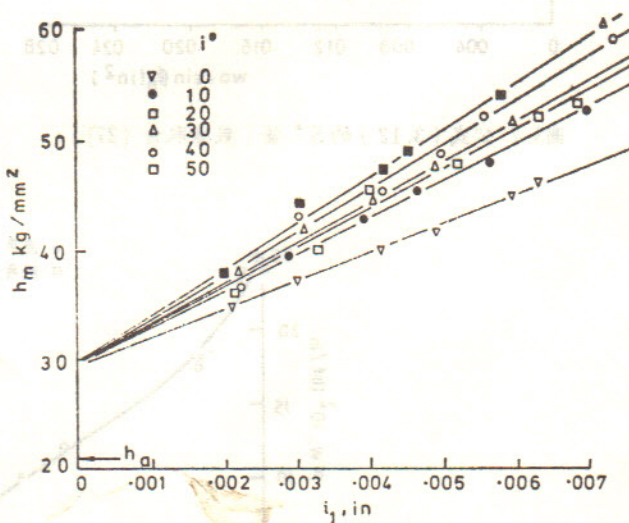


圖4.2 總表面硬化值與切削深度的關係

圖 (4.2) 顯示總表面硬度 h_m 隨著切削深度而增加，而且也隨著刃傾角度而增加，這與方程式 (4.1) 相符合。

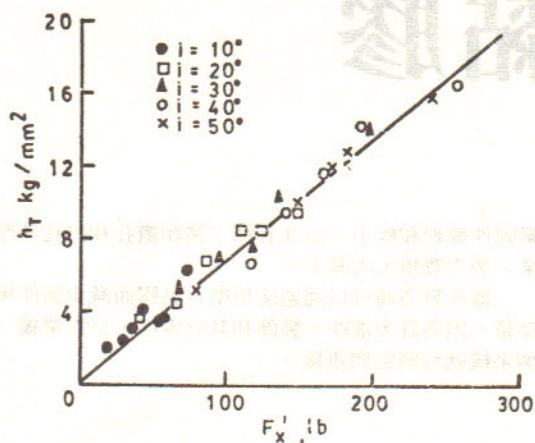


圖4.3 切削刃鈍圓半徑所引起的硬化 h_T 與切向分力 $F_{x'}$ 的關係

h_m 軸的交點是 h_0 在不同 i 直時的數值。當 h_a , h_m 為已知值時, h_s 可從平面切削的資料中求得, 所以 h_r 可計算出來。

即 $h_r = h_m - h_a - h_0 - h_s$

圖(4.3)說明了 h_r 與沿着切削刃的水平分力 $F_{x'}$ 的關係, 從圖可知:

$$h_r \propto F_{x'}$$

比例常數視材料的加工硬化特征而改變。圖(4.3)說明等式

$$h_r = 0.08 F_{x'}$$

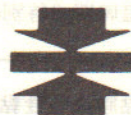
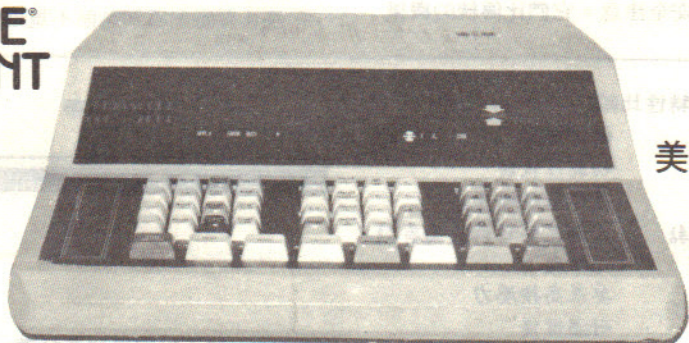
所以鋁合金的斜刃切削引起的加工硬化度可從以下等式計算出來:

$$h_m = h_a + 0.3 F_{v'} + |5.2 \times 10^3 t_2 \sec \alpha| \alpha - \alpha_e + 0.08 F_{x'}$$

其他的材料, 也可同樣地建立相似的等式; 有了等式后, 只要通過簡單的切削實驗測量到切削力, 便可估計加工硬化後的硬度。(未完, 待續。)

廣告請電3-817304
刊廣告請電3-817304
惠刊廣告請電3-817304
有刊廣告請電3-817304

**BETASCOPE®
INSTRUMENT**



美國TWIN CITY
各種金屬
鍍膜測厚儀

我們高興地宣佈, 美國Twin City Testing Corp. 已指定本公司為 Betascope β 金屬測厚儀的遠東地區總經銷。

Twin City 在工業界已有20多年歷史, 閣下完全可以信賴該公司所提供的微型信息處理系統之貴金屬及普通金屬測厚儀。此種儀器為最新改進產品, 技術先進、使用簡便、安全可靠。

操作容易, 測量迅速與結果精確是此 Betascope 測厚儀之優點。電話垂詢, 觀摩示範, 無任歡迎。



Oxy Metal Industries (Asia) Ltd.

樂思金屬工業(亞洲)有限公司

九龍葵涌葵定道羅氏美光發展大廈四樓

電話: 12-243121 電報: HX 74650