2.1 切削條件

切削條件有切削速度 V_c，每刃進刀量 f_z，切深 A_p，切寬A_e，其中 V_c, f_z可轉換成主軸轉數 n 與進給速度 F 。若刀具直徑D_c、刀刃數N_t，理論上$V_c = D_c*\pi*n$, $F = f_z*N_t*n$。但並不是所有刀具切削點的直徑是D_c，參考圖2.1-1左，圓鼻刀的刀片直徑iC、 $iC/2*(1-\cos(\theta)) = A_p$ ，切削點直徑 $D_{cap} = D_c + iC*\sin(\theta) = D_c + [\, iC^2 - (iC-2*A_p)^2 \,]^{1/2}$ 。參考右圖，捨棄式面銑刀的主偏角 κ_r ，切削點直徑 $D_{cap} = D_c + 2*A_p/\tan(\kappa_r)$ 。參考圖2.1-2左，球刀的切削點直徑 $D_{cap} = [\, D_c^2 - (D_c-2*A_p)^2 \,]^{1/2}$ ，例如$D_c = 10mm$, $A_p = 0.1mm$，則 $D_{cap} = 2mm$, 是D_c的 1/5 。參考右圖、球刀傾斜角 φ ，切削點直徑 $D_{cap} = D_c*\sin(\varphi+\theta)$, $\cos(\theta) = (D_c-2*A_p)/D_c$。在模具精切削、工件的坡度不同，沒有固定的切削點直徑，即 D_{cap} 的範圍很廣，一般人是以進給速度逆推主軸轉數，請參考 2.6 節。註：不同刀型的D_c定義不同。

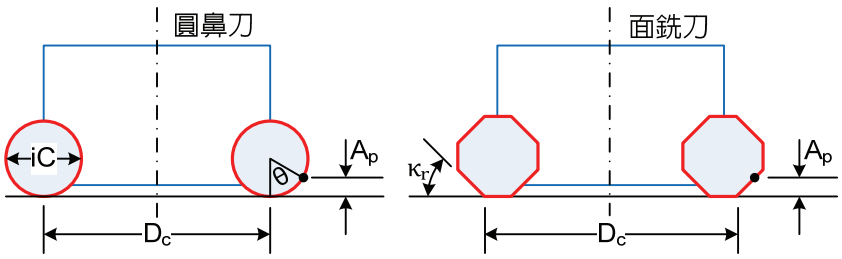

圖2.1-1

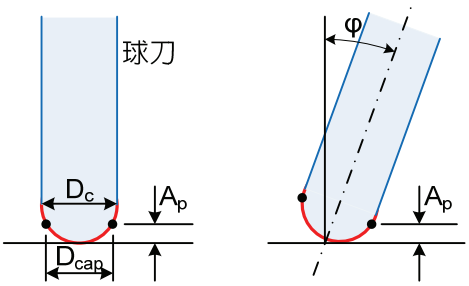

圖2.1-2

切削速度愈快、刀刃的熱應力愈大，刀刃牌號（鍍層）決定刀刃可承受的溫度，影響刀具壽命。刀刃鍍層種類有 CVD（化學氣相沉積）碳化物、 PVD（物理氣相沉積）碳化物、陶瓷、陶瓷碳化物等，因成分比例不同而有不同切削速度。加工業大都是 2D 切削路徑，準確計算切削速度對刀具壽命是有幫助的。每刃進刀量愈大、刀刃受力愈大，故刀刃的材質決定破壞強度 → f_z 。切屑面積(= 切屑厚度 $h*A_p$) 與切削力成正比， h 與 f_z 成正比。但刀刃崩裂、塑性變形不是因為切削總力太大，而是應力（總力 / 長度）太大。故切削深度不影響刀刃壽命，切屑厚度與刀刃的應力成正比。刀具手冊建議的 f_z ，若沒有指定切寬或切深，則是在最大切寬與切深的條件下、即全槽銑。若切寬≠刀具直徑，則每刃進刀量可以提高。有兩種計算方法修正每刃進刀量 f_z ，1. 平均切屑厚度相等，2. 最大切屑厚度相等。

銑削的切屑厚度不是固定值，參考圖 2.1-3, 紅色區域是一刀刃切削的切屑，切削角 θ 的切屑厚度 $h = f_z*\sin(\theta)$ ，當θ=90度、$h = f_z$ 。計算切屑面積 $A = \int_0^{\theta} f_z*\sin(\theta)*R*d\theta = R*f_z*(1-\cos(\theta))$, R = 刀半徑。切屑面積的長度=R*θ，故平均切削厚度 $h_m = A/(R*\theta) = 1/\theta*f_z*(1-\cos(\theta))$ 。若刀具直徑 D_c , 切寬 A_e ，切削角 $\cos(\theta)=1-2*A_e/D_c$ ，則 $h_m = 1/\theta*f_z*2*A_e/D_c$ 。若是槽銑、 $A_e = D_c$ ，則 $h_m = 2/\pi*f_z = 0.636*f_z$ ，並以此做為刀具手冊 f_z 建議值的基準。計算 A_e/D_c 與 f_z 關係、參考下表，整理得：調整 f_z 的倍率 $r = 0.73*(A_e/D_c)^{-0.43}$，若 $r<1$ ，則 $r = 1$ ，即 $A_e/D_c>0.5$ 時 $r = 1$ 。

A_e/D_c	h_m	調整 f_z	A_e/D_c	h_m	調整 f_z
1	$0.636*f_z$	f_z	0.3	$0.518*f_z$	$1.22*f_z$
0.5	$0.636*f_z$	f_z	0.2	$0.430*f_z$	$1.48*f_z$
0.4	$0.584*f_z$	$1.1*f_z$	0.1	$0.311*f_z$	$2*f_z$

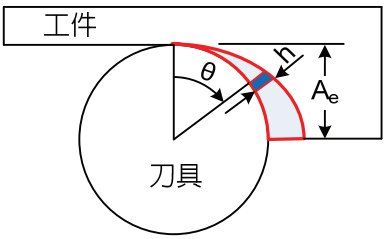

圖2.1-3

若刀具是捨棄式面銑刀，則刀具手冊建議 f_z 是在全刀寬、主偏角 κ_r = 90 度的條件，參考圖2.1-4左。若刀刃有主偏角 κ_r 、參考右圖，切削力與垂直刀刃的切屑厚度成正比，則 $h = f_z*\sin(\kappa_r)$, 刀刃長 $L=A_p/\sin(\kappa_r)$，切屑面積 $A = h*L = f_z*A_p$ 不變，故切削力與主偏角無關。因有主偏角的切削刀刃較長，可承受較多切削力，故可增加 f_z 與進給速度。計算平均切削厚度 $h_m = 1/\theta*f_z*2*A_e/D_c*\sin(\kappa_r)$ = 直齒 $h_m*\sin(\kappa_r)$，即進給速度與 $\sin(\kappa_r)$ 成反比。例如 κ_r =90, A_e/D_c =1, f_z =0.2mm ，若 κ_r =45, A_e/D_c =0.2，則 f_z =0.2*1.48/sin(45) =0.42mm 。

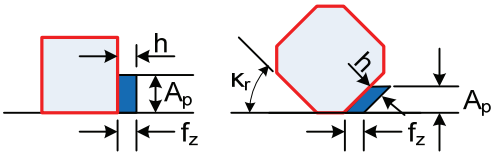

圖2.1-4

若刀具是圓鼻刀、刀片是圓弧，主偏角隨切削深度而改變，有平均主偏角嗎？綜合前述：在刀刃的某一切削點，切屑厚度隨切削角而改變，故以平均切屑厚度計算切削力。當刀刃的每一個切削點都有相同的平均切屑厚度，則可調整每刃進刀量，使每一個切削點承受適當的切削力。圓形刀片的每一個切削點有不同主偏角，使得承受的切削力不同。故須以承受最大切削力的切削點為基準，調整每刃進刀量。參考圖2.1-5左，刀刃（每個切削點）平移 f_z ，切屑面積 A 分割成無限多的微小四邊形。參考右圖、微小四邊形的面積 $dA = ds*f_z*\sin(\kappa_r)$, ds =