

475028

# 刀具的切削作用

工具機手冊 第二十七冊

金屬工業發展中心 編譯



# 刀具的切削作用

工具機手冊 第二十七冊

潘 國 桐 譯

版 權 所 有  
不 准 翻 印

中華民國六十九年五月出版

## 工 具 機 手 冊 之 (二十七)

### 刀 具 的 切 削 作 用

編 譯 者    金 屬 工 業 發 展 中 心

發 行 者    經 濟 部 國 際 貿 易 局

印    刷    富 進 印 書 有 限 公 司

# 前 言

我國工具機製造，近年來各機種不論在產量和品質上，都有長足的進步，與國外各廠產品，已可媲美，且已大量出口。經濟部國際貿易局鑑於唯有改進產品品質，始可保持已有的市場和進一步拓展外銷，乃于民國六十七年十二月委託本中心編撰工具機手冊約四十冊，內容包括切削加工工具機的製造技術、沖壓模具、塑膠模具、壓鑄技術、鑄造技術、熱處理、表面處理、控制系統等，提供有關本業工廠技術員工參考，希冀由本手冊的刊行，能解答工廠中一部份所遭遇的問題；至於有關工具機書籍已刊載的內容，在本手冊中不再贅述，謹於篇首，簡介如上，至於編撰時間倉促，容有不週，尙祈不吝指正！

# 刀具的切削作用

## 序

這本書最初是Manchester地方Metropolitan Vickers Electrical Co., Ltd.其研究部門的研究報告，可作為工廠主管人員，現場工人，發展工程師和工具工程師等參考。這是屬於機械黃皮書內的一冊。

加工時，有四個影響產量最主要的因素為：表面光製程度，刀具切削力和動力，刀具磨耗及機器的振動。這些因素在最初兩章中會討論到，第三章是在講刀具切削原理的實際應用。

本書的 後一章 是加工的經濟性討論與工廠的提高生產量研究設計。

請參閱本手冊第九、十兩冊鑽孔與搪孔，及第廿三、廿四兩冊，銑切方法及其經濟效益分析。

# 刀具的切削作用

## 目 錄

|                      | 頁數 |
|----------------------|----|
| 第一章 加工面的特性.....      | 1  |
| 第二章 切削力，刀具磨耗和振動..... | 15 |
| 第三章 實用的切削刀具.....     | 32 |
| 第四章 機械操作的經濟性.....    | 48 |
| 第五章 實際加工情況的分析研究..... | 59 |

# 第一章

## 加工面的特性

加工表面的光滑情形會影響其外觀，磨擦阻力，疲勞阻力與其它的特性，所以詳細研究各種主要的加工方法所影響表面切削粗度的因素。下面所要討論的僅包括由單鋒刀具產生的加工面，但是其原理也可應用到如輪磨和搪磨的機械加工面，或者是使用更複雜的刀具。

在我們詳加討論切削後其表面的粗度特性前，我們必需先適當地對刀具作不同方式切削加工下一個基本的定義。

最簡單的切削方式是所謂「直交的」（圖1），可以如圖2兩次元圖形來解說，双口大於切削寬度且與切削前進方向垂直，圖2內，定義出「斜面角（Rake angle）」，餘隙角（Clearance angle）和切削深度（Depth of cut），後者在習慣上稱之為未變形切屑厚度（Undeformed chip thickness），以避免與一般車削深度相混淆。

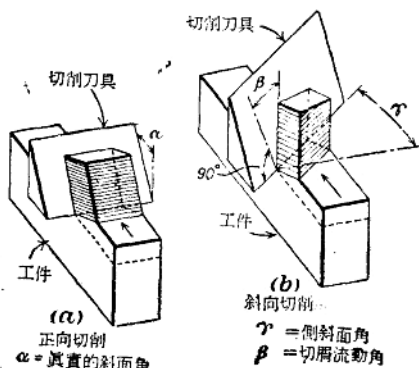


圖1. 簡單的楔形刀具的切削作用圖解。

正向切削的一種修飾成為「斜向」切削，如圖1(b)所示，其双口不和切削進行方向垂直。這兩種切削方式之一，所有刀具都會以某種形

式出現。包括鑽頭，螺絲攻與銑刀，有關這方面的資料可用來解釋或預期實用的刀具切削雙口的作為。

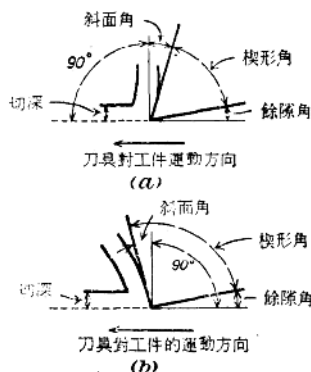


圖2. 直交切削以(a)正的(b)負的斜面角切削的幾何圖解。

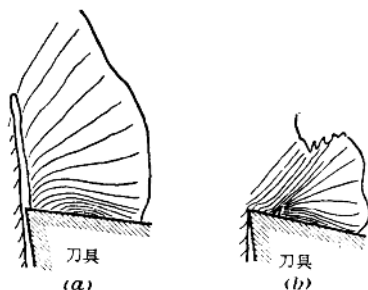


圖3. (a)“撕裂式”(b)“剪切式”或“不連續式”切屑的形成圖示。

概括地說，在切削中會產生三種型式的切屑，其切屑的形式大都依其切削速度、切深、斜面角和被切削的材料而定，它們是撕裂式 (Tear type)，圖3 (a)，不連續式 (discontinuous type) 圖3 (b)，與流動式或連續式 (Continuous type) 圖4，（若只將最後一種稱之切屑，實際上是錯誤的。）藉著切削剖面的分析，這些圖形告訴我



們切削中材料流動的情況，撕裂式切屑現在僅屬於學術研究者所重視，它是在極低速度或極深的切削所造成，會產生何種型式的切屑其力學上的理論尚待研究，但是由切削情況結果所造成某種型式的切屑，它的性質已很瞭解了。

以下所述的因素都會使切屑從不連續性變為連續性切屑：即增加切削速度；低速度時，減少切削深度，增加正斜面角或使用潤滑液；工件材料有增加的延展性。

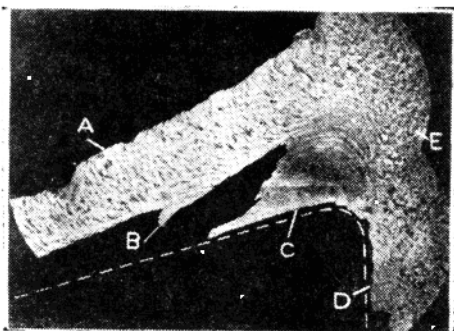


圖4. 鎢—鉻鋼以83呎/分切削速度和0.02吋切深加工時，其膠結層形成的顯微照像圖。

A—切屑，B—膠結層與切屑一起脫離的碎片，C—膠結層，D—膠結層與工件一起脫離的碎片，E—工件。

## 表面粗度

切屑的型式會影響到切削表面粗度的本質，表面粗度是以微吋來量測，且以表面上的平均高度偏差(h)表示，有關產生不連續性和撕裂切屑的切削平面，僅有片斷的資料而已，非常粗糙的表面是由於撕裂切屑所產生，因為碎片由內部擴大沿刃口上脫離，這種平面的剖面可以看出一連串的階梯與隆起，不連續性切屑通常會產生較為光滑的表面，但因切屑的不連續，故也有明顯些許不規則的表面。

對於由連續性或流動性切屑所產生的表面粗度研討，因為大部份切削操作都屬於這種型式的切削，通常有膠結層（Built-up edge）

的組織出現在鄰近刀具的切削刃口處，如圖 4 所示。在某種情形下，特別是在切屑與刀具的接觸面有極高的磨擦係數時，這種組織會出現在刀具的頂面，切削進行時，就形成上述有膠結的切屑，如不以機械方式阻止，在理論上，將形成無限大的膠結。

但事實上膠結層的尺寸是有限的，因為由於實際的切削情況，撕裂部份和碎片已由工件表面脫離。膠結層上的碎片也是附在一切屑下面被帶走了，但是由於工具表面燒焦作用，這種現象並不清楚。當此一膠結層消失，接著立刻又再生成一個新的來。這些過程可由圖 5 和 6 的圖解觀察之。圖 5 表示材料組織在切屑膠結以前，已在刀具的前面連續變形，同時也表示出每一膠結經破裂而形成為兩個新的表面，即工件表面與切屑的下面；圖 6 表示形成與斷裂的過程，保持形成的膠結層在一相當的限度內。

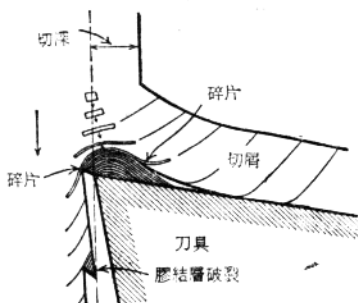


圖5. 膠結層形成的方式。

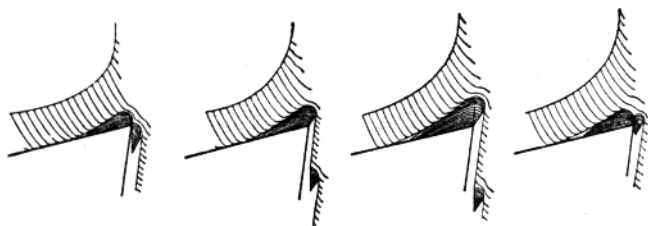


圖6. 膠結層循環步驟。

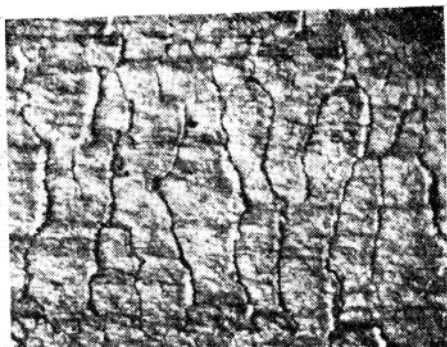


圖7A. 由膠結層現象影響工件表面平面圖（放大率17.5×）切削方向由右至左。

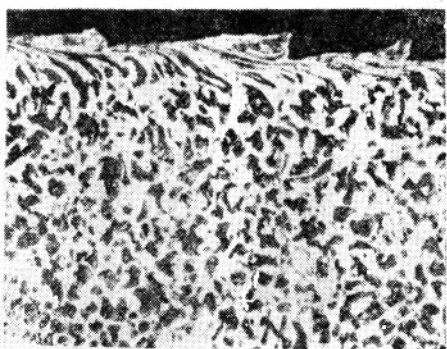


圖7B. 工件表面的剖面圖（放大率55×）切削方向也是從右至左。

膠結層最大的影響是一切屑表面的粗度，切屑經過刀具餘隙面下加工之表面的碎裂隆起和斷壁，是與切削進行方向垂直的延長表面，如圖7A與7B所示）。當膠結層碎片經由刀具的餘隙面被擠落，就會有如圖8所示明顯的擦痕和擦光。有關膠結層的大小，即表面的粗度和切削情況有極大的關連，這些碎片有時大到肉眼可以觀察，也小到僅能用高倍率的顯微鏡才可以觀察到，這些碎片堆積的速率經常會達到每秒鐘500次之多。



圖8. 銑切面上膠結層破碎尖端擦光的平面圖(放大率140×)。

這種碎片大多數是屬於粗製表面正向切削時所產生的，當無進給切削時，其切削双口幾乎一絲不差地複製成同一輪廓的切削面。但實際上，刀具双口幾何形式和工具的進給刀痕或類似的週期性不規律震盪，都會影響到表面光製程度。最理想的表面粗度是切削双口的形式正確複製在迎接進給完成的表面上。其理想的粗度可由計算求得。所謂理想粗度觀念是很重要的。因為它表示屬於某種刀具外形與進給情況工作，所能獲致最佳的光製。

影響表面光製的因素，可以劃分為兩類：即由於膠結層碎片影響到表面粗度的本質，另一會影響理想表面的幾何形式。但是，有些因素都會影響到這兩型式的表面面粗度。例如，在車削棒材時，第一類的因素有切削速度，斜面角，切削深度，進給與潤滑劑，而進給和刀具形狀（包括其表面光製）都會影響到理想的表面幾何狀況。對於產生光滑表面言，這兩類影響因素都是同等重要的。

表面粗度因切削速度，斜面角和切深的變化而改變，用燒結碳化的刀具直向切削軟鋼的實驗中，顯示出所有的斜面角，若增加切削速度，則降低表面粗度；雖然也有例外，但對大多數的材料都是如此的。例如，某種的鋁合金，當其速度高達某一值後，增加速度即增加其

粗糙度。

多年來對普通碳鋼和高速鋼的實際經驗，也強調了試驗上的結果，即低切削速度下，斜面角與切深對本質的表面粗糙度的影響。當切深降低與斜面角增加時，本質的表面粗糙度便會減少了。但是，在高速度下，依據實驗的結果，即當切深增加且負斜面角也增加時，本質的表面粗糙度卻減少了，這顯然地是由於在不同的切削狀況下，受刀具雙口處溫度影響的結果。

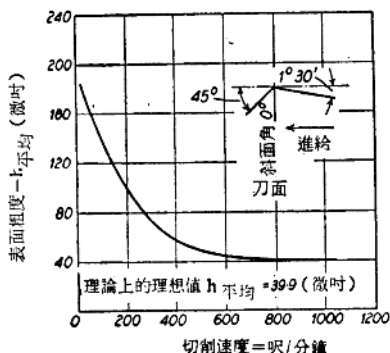


圖9 以燒結碳化物刀具車削鋼時，切深=0.015吋，進給=0.006吋，斜面角=0°時，切削速度對表面粗糙度的影響。

另外，實驗也指示出，對棒材的車削表面粗糙度，當在本質的粗糙度消失時，則沿軸心方向量測其粗糙度可達到理論上的理想程度，如圖9所示。在慢速度時，由於本質切屑的膠結層碎片，再加上刀具的幾何形狀及進給所致使的表面粗糙度，在高切削速度時，膠結層碎片產生的粗糙度會消失，所以整個粗糙度便等於理論上的粗糙度。

圖10指出，對車削的圓棒，其軸心向的粗糙度是依切削速度與斜面角而定。當斜面角減小時，高速度下粗糙度減低，而當斜面角增加，在低速度下其粗糙度也減低。這個結果與本質的粗糙度實驗的結果是一致的。

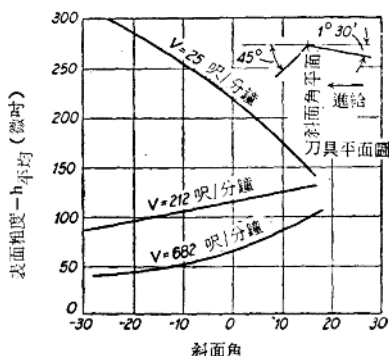


圖10. 以燒結碳化物刀具車削硬鋼，切深=0.015吋，進給=0.006吋時，斜面角和切削速度對表面粗度的影響。

圖11為用兩種刀具車削理想的表面粗度計算曲線。根據圖上的判斷，對於某些特別的切削加工，用這些圖形可預先定出在合理準確範圍內的表面粗度。

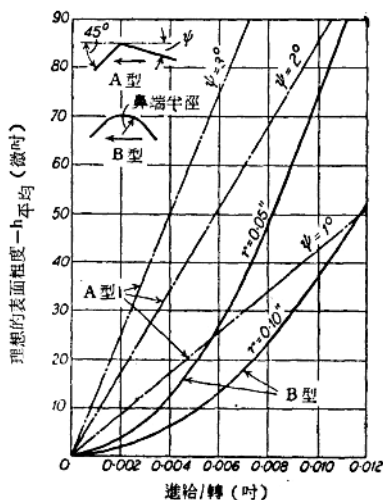


圖11. 刀具外形輪廓面對理想粗度車削表面的影響。

## 切 削 與 潤 滑

切削液對於本質的或膠結層粗度有極大的影響，所以說它和潤滑問題有關連。在某固定的切削狀況下，可看出在刀具表面與切削後表面粗度之間有某種關係存在，一低的磨擦係數伴同一相當的本質粗度。

使用切削液有兩個主要目的，即冷卻與潤滑，通常切削液不是同時都有這兩種作用。冷卻液在切削時，由於降低了其一般的溫度水準，乃減少了刀具的磨耗率。在機械加工裡，冷卻作用可說是更為重要，在許可情況下，切削液的主要作用却是潤滑切屑使其滑越刀具面。這潤滑作用主要在降低其切削力量，也減少了切削面本質的粗糙度。但是顯然地，在所有的機械加工中，為獲得良好的表面光製，潤滑作用是扮演著極為重要的角色。

切屑磨擦作用的降低，乃減低了刀具的磨耗，但事實上潤滑劑也有可能增加了磨耗率，這個重要的研究是不同的切削液加在燒結碳化物刀具上所致使的腐蝕作用中，已經證明了其中含有水份的氯磺化油 (Sulpho-chlorinated oils) 會產生極嚴重的影響。

最近的研究也證明出機械的切削潤滑與液壓力學潤滑，像軸承的潤滑便是一個大不相同的例子。潤滑作用是屬於化學作用的，是由於切削液非常清潔，在初期的切削與刀具面的交界處，便會與工件表面直接反應形成化學的化合物。而這種化合物的薄膜將切削面和刀具面分開以避免他們之間的直接接觸。由於化合物本身僅有極低的剪力強度，故其磨擦係數較小，以這種特性的切削液有四氯化物與三氯乙稀 (Trichlorethylene)。純水的潤滑作用也可以用這種方式來解釋，拉孔用油是需要有特別的良好潤滑性，有時更要包含有特殊的「添加物」，例如，液態的三氯乙稀，但是在工廠應用上也會有些困難發生，因為這種揮發性液體，時間長了就會從油中蒸發而去，目前尚未有替代品。

硫的氯化物切削油也因其活性之硫和氯的化學作用而具有潤滑性，硫化物與氯化物會與工件表面反應，若油中含有硬脂酸時，因其與

工件表面反應產生的金屬肥皂，一般認為它具有潤滑性。

其餘有關切削油的發展品有石墨油和滑石粉油，在切削實驗中，很難看出這些添加物對於磨擦係數的影響。在市面上有許多特殊的切削油，每一種都自稱具有某些特點，但這些實際特點需要經過比較使用。要記住切削油的潤滑性是由其對切削金屬的特性而定。在一些例子中，可發現某些切削油商品，其潤滑性並不比水好。

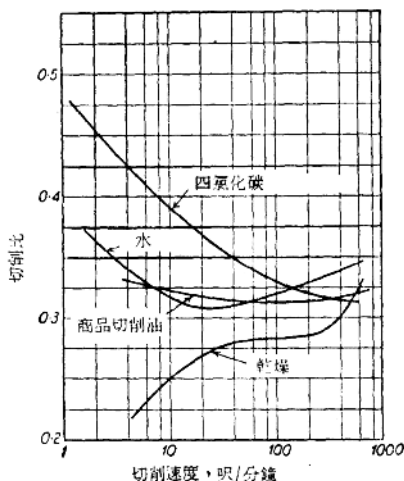


圖12. 切削退火的中鎢鋼時，所使用各種切削方式，其切削比與切削速度的關係。

當切削速度增加時，切削油的潤滑性也就降低了，這是由於縮短了切削油透過相交面的時間，而影響到切削溫度。如圖12所示，其切削比愈高的，則其磨擦係數愈低。

在結束潤滑討論前，談到含鉛的易削鋼，試驗中顯示出若微小顆粒的鉛平均分佈在這些鋼中，在刀具面與切屑的底面上形成一層薄的金屬膜，在切屑與刀具間具有如潤滑液的作用。在室溫時，鉛不影響鋼的機械性，但對於加工特性與表面光製，則都有所改進。



## 表面的變形

在切削中，切削面下面的材料會立刻變形，有關這種殘留變形的研究，是要得到當切削進行中有關的狀況和基本知識。但是，對於機械師的看法，即在部份變形的材料因工作而硬化。其硬化的程度與變形的嚴重程度成正比。我們可將切削面的縱剖面觀察之，圖13便是一個例子，其變形的深度大多由斜面角和切削深度而定，大的或小的切削速度是沒有什麼影響的。

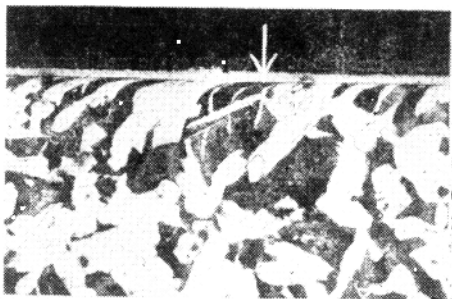


圖13. 以燒結碳化物刀具加工軟鋼時，其次一表面材質變化的金相照相圖（放大率150×）。切削速度=538呎/分鐘，切深=0.015吋，斜面角=0°，切削方向由左至右，箭頭所指為工件表面。

軟鋼的斜面角若為-10度到+20度之間，則其變形的深度大約為切削深度的十分之一。雖然我們不能用以前所使用的方法來量測出靠近表面處的應變量，但是很顯然的材料會有較大的深度變形，切削時的潤滑作用可明顯地使產生的變形量降低。

圖14例中是 E. G. Herbert 很有名的實驗，由於切削的結果而增加了膠附層組織和變形切屑材料的硬度，在以後的實驗中，他也討論到用現代式操作所遭遇到的切削問題。我們可以這麼說膠附層碎片的硬度對刀具的磨耗率是極為重要的因素。

## 殘留表面應力

在切削過程中，材料的次一層會發生殘留應力，它們有時會大到