

機械工作法

龔肇鑄譯

下冊

BEGEMAN
AMSTEAD

MANUFACTURING PROCESSES

Sixth Edition

東華書局印行

機械工作法

下 冊

著 者

MYRON L. BEGEMAN B. H. AMSTEAD

譯 者

龔 肇 鑄

東華書局印行

序 言

作者以審慎之態度完成此書，專供大專有關科系及高級工業職業學校學生之課本，或正在研習中工程師參考之用。內容係根據工程上的基本原理，說明各種工業材料及加工方法，以期各生能對理論及實際貫通瞭解。本書若用為教材，可作為講課或實驗資料。書中對材料，工作及設備等提供相當完整之資料，為設計，檢驗及生產管制工程師等之理想參考讀物。

由於新的材料，機械化，自動化等迅速發展，致令製造方法，愈越複雜。譬如電子技術不僅仍用於傳統式的舊有製造方法上，同時也用到數年前為聞所未聞的，非傳統式的，新的製造方法上。各種材料的加工，可能有數種方式，但是各種方式之得失，影響與效果，亦各不相同，一個設計工程師對於這些複雜的關係，應該有徹底的認識和瞭解，這是非常重要的。為了發揮設計和製造的競爭能力，所以在設計及製造方向，應慎加選擇，比較其優劣。這一點和設計時預定其公差數值有相同的重要性；因為公差不但影響成品的品質，且對於成本的高低亦屬重要也。為了瞭解日趨複雜之製造及裝配方法，並滿足這種需要起見，工程師與科學家們應該共同合作，在實驗室裏走向研究發展之路，以期精益求精。

為了使讀者對於製造方法基本理論有更廣博的概念起見，書中有若干章是專論材料結構的基本學識及其物理或機械性質之變化。每一專題的討論，皆注重其基本觀念，扼要加以說明。盡量採用以前各版原有之線圖及照像，以利說明。各種表格，亦經慎為選擇，以發揮其最大使用效能為原則。每章之末皆附有問題若干則，且有若干章並附有使用數據計算之習題。

本版新增各章有：非鐵金屬之生產，工具機之基本單元（或構件），電氣造型及特殊加工法，及旋轉加工機器等；後者為前版中車床，六角

車床及自動車床各章合併而成者。重寫者有塑膠，熔接及接合，數據控制等各章，皆經加入適當數量之新資料。其他各章亦皆經重新修訂，並特別注重現代非傳統性製造方法之發展。

作者：M. L. Begeman
B. H. Amstead

目 錄

第 十 五 章	金屬切削	1
第 十 六 章	旋切機器	20
第 十 七 章	鑽孔及搪孔機器	53
第 十 八 章	銑床及銑刀	82
第 十 九 章	牛頭刨床及龍門刨床	107
第 二 十 章	鋸床及拉床	119
第 二 十 一 章	磨床及磨料	142
第 二 十 二 章	齒輪及齒輪切削機器	175
第 二 十 三 章	螺紋及螺紋之切製	203
第 二 十 四 章	電積造形及特殊製造法	220
第 二 十 五 章	塑膠	247
第 二 十 六 章	熔接及連接	279

第十五章

金屬切削

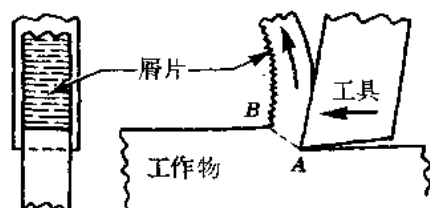
任何產品的製造，最重要者必須是有效率的生產方式，及適當的品質。金屬原料經過精製之後，必須經過若干主要的加工程序，使其形狀及尺寸合於商業上的用途。最後的製品，大都經過若干主要的切削加工，方能造成必要的形狀及尺寸。一個重要之點是欲得切削加工之能經濟的利用，必須對切削的原理有徹底的瞭解。這些原理，即是用在車削、銑、鑽以及其他機器加工者。產品的製造，是用一種方式將金屬變成碎屑而除去之。切削工具專司除去碎屑之職，故為機器之工作中心。

固然機器之操作速度愈高，無論是機器及人工都可得較高效率的運用，但是工具的壽命也相對的縮短，所以對於某一種切削施工，選擇適當的工具，速度及進給，必須是各方面兼顧的協調方式。

金屬切削工具

最簡單的切削工具是單尖工具，如車刀、刨刀等是。多尖者僅不過是兩個或兩個以上的單尖工具，以某種排列方式而組成一體者，銑刀及拉刀 (broaching tool) 二者皆為很好的例子。本章所討論者僅限於正交單尖切削，也就是說切刃與切削的方向垂直，被切除金屬無側向的流動，屑片無曲度，任何部位之切削速度皆相同。切削情形如 15-1 圖所示。

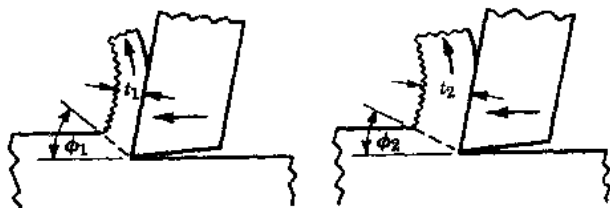
另外有兩種屑片成形之法，一為向上彎曲，另一為隨工具的傾角向側邊彎曲。事實上所有的屑片都是這三者的組合，但正交切削之屑片較易於分析而已。



第 15-1 圖 用正交單尖工具切削屑片成形之簡圖。

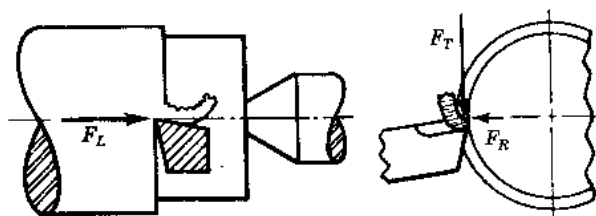
雖然有各種理論說明屑片之形成，但在分析其切割作用，是假定在 AB 面上受了剪力作用而使其分離。由於屑片的變形，在工具面上產生壓力，因之也產生了相當高的磨擦阻力。切割屑片所作之工作，必須能克服此剪力及磨擦力。

切削力 剪力的大小及剪力面之角度，視屑片與工具面間之磨擦阻力而定。而磨擦阻力又視工具之光平度及銳利程度，是否使用冷却劑，工具及工作物的材料、切速、及工具的形狀等多種因素而定。如圖 15-2 所示，厚屑片小剪力角者，產生大的磨擦力，反之則磨擦力較低。若磨擦力能減低，金屬切除工作的效率可增高。作用於工具上的各作用力，可用一種量力計 (dynamometer) 測量之，並可作其向量分析。



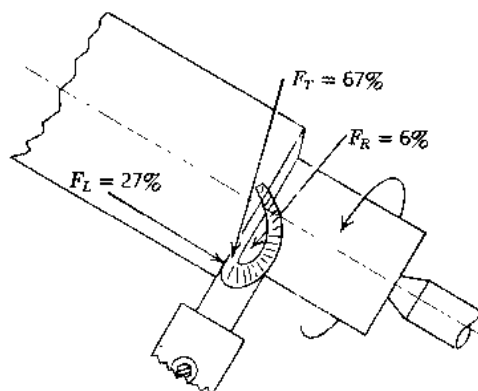
第 15-2 圖 剪力角與屑片厚度之關係。

最常用之量力計有兩種，機械式的及應變計式的。機械式的是在車刀柄上用靈敏計盤規，以測量其撓曲度，應變式者是在刀柄平面上黏貼電阻式應變計，由電阻線的伸長或縮短導致電阻的變化，而量出其應變。後者較為靈敏，但所用儀器亦較為昂貴。欲測量工具頭端之合力，至少要用量力計量出其兩個主要的分力。如 15-3 圖所示，工具上所受之



第 15-3 圖 作用於車刀頭端之力——縱向、切線方向及徑向。

力，有縱向、切線方向及徑向三種，皆可用量力計度量之。第 15-4 圖示各作用力之大約的分佈。大多數的切削加工之力最大者為切線方向者，而且為三者中之最具重要意義者。

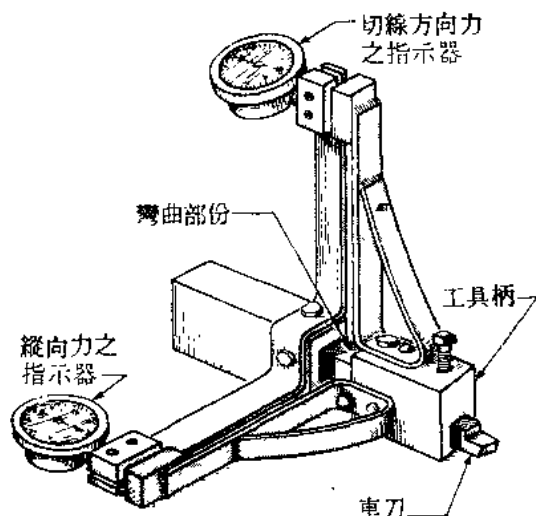


第 15-4 圖 單尖車刀上作用力之分佈情形。

第 15-5 圖示車刀縱向及切線方向之量力計。其構造是在車刀柄上之部份減縮其切面積，該段於受力時易於彎曲。針盤規裝於伸出樑上，作用力使工具柄撓曲，可用針盤規放大之。針盤規所指示之值，可直接加力於車刀頭上校驗之，直接表示受力的之量。此量力計之原理甚為簡單，切削時力之變化甚快，故僅能得其平均值而已。應變式量力計裝有示波器 (oscilloscope) 或高速記錄器，故可得到較為精確之讀值。

對於已知的某種材料，其切削力受下列各因素的影響：

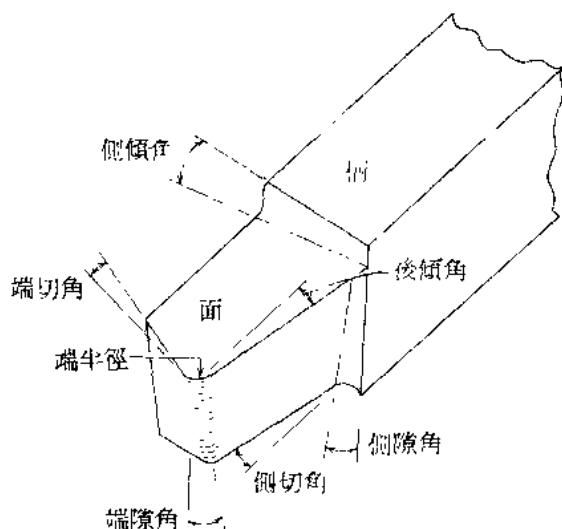
1. 變更切削速度，對於切削力並無顯著的影響。
2. 工具的進給愈大，切削力亦愈大。



第 15-5 圖 機械式車刀量力計。

3. 切削愈深，切削力亦愈大。
4. 屑片大者，切線方向之力亦大。
5. 若端半徑加大或邊切角增加，縱向之力減少。
6. 後傾角每增加一度，切線力約減少 1 %。
7. 使用冷却劑可略微減少切削力，但可大量增加工具的壽命。

車刀形狀及其各部角度 參考第 15-6 圖，可以幫助瞭解單尖車刀之切削作用。車刀用砂輪磨成楔形的刀口，兩面所包之角稱之為唇角 (lip angle) 或切削角 (cutting angle)。車刀側面與工作物之間有一隙角，以免二者產生磨擦，此角稱之為側隙 (side-relief) 角，對於各種材料所用之角皆甚小，大都為 6 至 8°。側傾角 (side rake angle) 視切削角之大小而異，而後者與切削之材料有關。若車刀於工作時是固定於水平位置，則必須用砂輪將後傾角 (back rake angle) 磨出來，但一般車刀柄之設計是要將工具固定於大概的位置，以得到正確的後傾。端隙角 (end relief 或 clearance) 之目的，是防止工具與工作物間於工作時產生磨擦。第 15-6 圖所示之各種角度，是根據車刀柄裝在水平並垂直於



第 15-6 圖 右手切削車刀各部名稱。

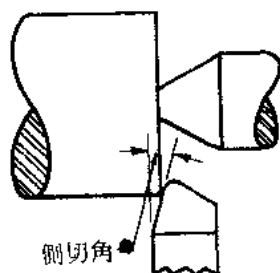
工作物位置所顯示者。若角度須加以改變時，可調整車刀柄之位置，而不必再用砂輪研磨之。

切削角視材料不同而異。此角必須相當尖銳，以利於切割並減少動力的消耗，但也要相當的強度以承受作用力及散放所產生的熱量。一般情形都是視材料之硬度作各方面的協調而定者。高硬度材料需要較強的切削刃並有傳熱的能力。軟性材料之切削角較小，用於木材者僅約為22度。軟性金屬材料，如銅及鋁等，所需之角度較大，其範圍高達47度。脆性材料產生碎或易斷之屑片，需要更大的角度。不過其中最足以令人感覺興趣者，是黃銅及硬鋁（duralumin）二者所建議之角度。實際上最好為零，這種切割等於是一種刮刨作用。其原因是這種材料太軟，若用太小的切削角，刀刃將掘入金屬內將其撕破，而非切割。由研究結果顯示，不同的材料各有其最優的角度及切速。第 15-1 表所示者，為高速鋼工具材料所建議使用之各值。

第 15-1 表 高速鋼車刀之各種角度及切削速度

工作物材料	側隙角 度	側傾角 度	後傾角 度	端隙角 度	切削速度 呎/分鐘
軟鋼 1020	12	14	16	8	100
中炭鋼 1035	10	14	16	8	70
中炭鋼 1090	10	12	8	8	50
螺絲鋼料×1112	12	22	16	8	150
鑄鐵	10	12	5	8	50
鋁	12	15	35	8	450
黃銅	10	0	0	8	250
蒙納合金	15	14	8	12	120
塑膠	12	0	0	8	120
纖維質	15	0	0	12	80

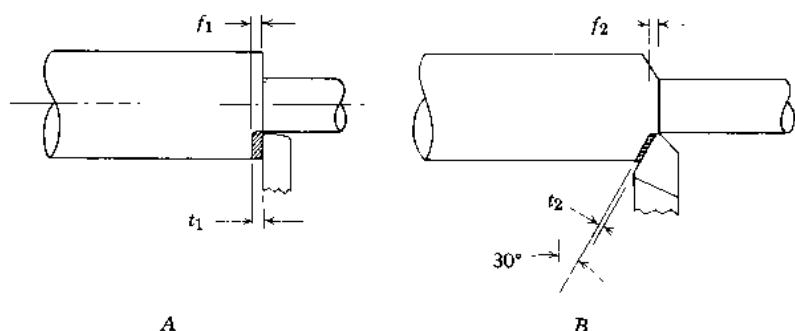
當工具開始切削時，切削作用並不在車刀之尖端，而是在稍微退後強度較高之處，如 15-7 圖所示。此外，在切削行程終止之時，車刀的負荷亦逐漸減少。切刃不論有任何角度，總是使此刃口之長度增加，每單位長度之壓力減少。普通車刀，建議使 8 至 15 度之端切角 (end cutting edge angle) 及小的端半徑。採用此種形狀之目的，是避免太尖易斷或太鈍者屑片薄易磨損及顫動之弊，而取其二者之協調數值。



第 15-7 圖 使用側角，於工作開始時可保護車刀之尖端。

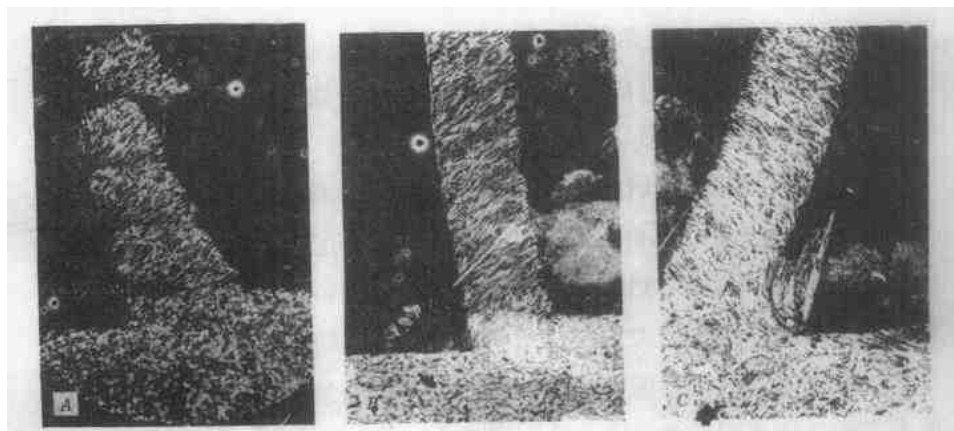
第 15-8 圖示使用側切角可使屑片減薄。炭化物工具如使用約負 5 度的側傾角及後傾角，顯示有甚高的切削效率及較長的工具壽命。這種情形尤其是在粗切時更為顯著。這是因為表面粗糙，起銹皮，或少量

的偏心等，這些不規則部份打擊到車刀稍後方較強之處，可避免刀尖破斷。炭化物工具可用較重而快之切削，產生熱量較大，故必須使用適當的冷卻劑。



第 15-8 圖 側切角對於屑片厚度之影響。

屑片的形狀及其形成 對於屑片形成之力學及幾何學，以及形狀與工具壽命及表面光滑程度等之關係，已往曾經作了多種研究工作。Ernst 氏將屑片分成三種，如 15-9 圖所示。第一種非連續式或斷碎式，其形成的情況是在車刀之前金屬已破碎而成極小之塊。此種屑片大都於切削脆性材料，如鑄鐵及青銅等，得來。當屑片生成之後，車刀刃



第 15-9 圖 屑片之基本型態。從車、銑、刨及拉切各種切削加工中，當屑片部份形成時之斷面照像圖。

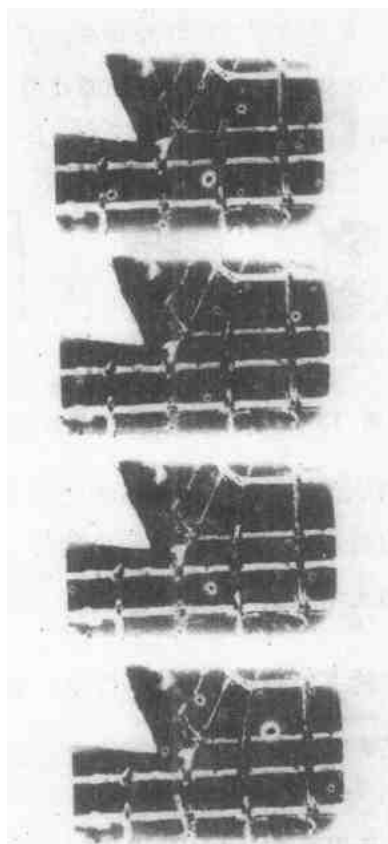
將表面切平，故可得相等光平之面。工具壽命相當良好，而其損壞原因大都由於接觸面的磨擦。若磨擦阻力係數高，仍有一部份延性材料能造成非連續性屑片，然而這種情形是表示切削情況太差。

站在工具壽命及表面光平的立場而言，理想的屑片是第二種的簡單連續式者，此種屑片是由所有延性材料而具有低磨擦係數者而得。此種情形乃金屬連續變形，並且在車刀面上滑動而不斷。此種屑片是由高切速而得，而且用炭化物作切削工具者較為常見。由於其屬於簡單型者，故力的分析亦較為容易。

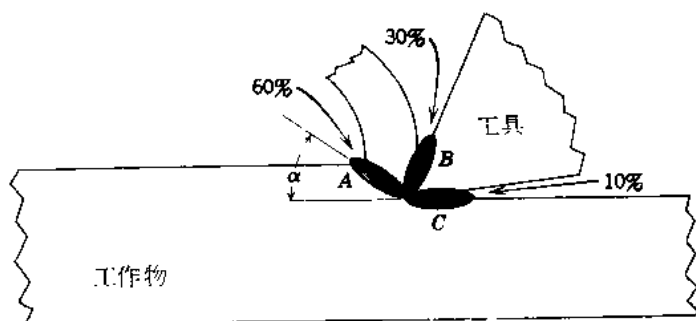
第三種屑片亦屬於延性材料，但為磨擦係數較高者。有若干材料由於磨擦係數高，於開始切削時，即在刃口之前有堆積現象。當切削繼續進行，屑片流過刃口，沿工具表面而上升。這些堆積材料之一小部份，定期的分離並隨屑片而去，但也有的陷入切削的表面之內。基此原因，所以加工面不如第二種者良好。此堆積邊於切削時常能維持相當的穩定而不變，對於車刀の後傾角有微量的影響。然而，當切速增高，此堆積邊減少，表面情況亦可改進。改進之法，對若干延性材料雖不能完全除去，但減少屑片的厚度或增加傾角，這種現象至少可降低。

金屬於切削時所受應力之形態，可由第 15-10 圖之比擬觀察之。此照像圖是用蜂臘作為被切材料，切速每分鐘 50 呎，拍攝速度每分鐘 7200 張。線與線間之距離為 0.05 吋。圖中示屑片形成之後，垂直線被擠而密合，但仍維持平行。這足以表示壓力使蜂臘向切削方向垂直的方向伸展。剪力角約為 45° ，亦甚易觀察得到。

有若干對此問題有研究之人指出，切削所消耗工作量之 97% 變為熱量。第 15-11 圖示熱能產生之區域及其分配。當剪力角 α 增加，在剪力面 A 中所產生之熱降低，其原因是這個面積減少，金屬的塑性流動距離亦降低。增加剪力角之法是使用冷卻劑，同時也可減少屑片與工具間之磨擦，這與工具能有正當的輪磨有相同的效果。在切削施工之各種因素中，切速對於溫度之升高影響最大。為了增加金屬之切除速度，故寧可增加進給而不增加切速。



第 15-10 圖 蜂窩之切削。



第 15-11 圖 單尖工具切削時熱之來源。

屑片控制 高速的生產，爲了保護操作人員的安全及工具免於損壞，屑片的控制及處置問題甚爲重要。長而捲曲之屑片，糾纏於工作件

及機器之上。其鋒利之邊緣及高的抗拉強度，欲將其自工作區域移除，實為困難而危險，尤其是於機器操作時為甚。工具上作成一種形狀，名之為屑片破碎器 (chip breaker) 者，可使屑片捲曲並產生高應力而自動斷碎，以便於自機器上移除。屑片破碎器有多種，如 15-12 圖所示：



第 15-12 圖 單尖工具之屑片破碎器。

1. 沿切削刃磨成深約 0.015 至 0.030 吋深之小平面。此式稱之為梯階式，此階可平行於刃口，但亦可成一小角度。其寬度視進給量及切削深度而異，普通由 $\frac{1}{16}$ 至 $\frac{1}{4}$ 吋。

2. 在刃口後方約 $\frac{1}{32}$ 吋處磨一小槽，深度由 0.010 至 0.020 吋。面之距離及槽之深度二者之正確尺寸，視進給量而定。進給量增加，這些尺寸亦應微微增加。

3. 炭化物刀尖片用硬焊或夾持的方式固定於工具面上者，屑片衝上高層邊緣即捲曲至適當程度而碎裂成短塊。

4. 選用適當的工具角度，引導屑片向某一方向流出。該處有若干阻碍，流動不暢，屑片受力而斷碎。

冷却劑 切削時使用固體、液體、乳化液或氣體等，可改進工具的切削作用。任何切削操作，皆因壓力磨擦而升高溫度。若這種壓力及溫度不能得到適當的控制，則這兩個金屬面有一種互相黏着之趨勢。第 15-11 圖示主要的熱量之來源。使用適當的冷却劑，可有下列各功效：

1. 減少屑片，工具及工作物間之磨擦阻力。
2. 降低工具及工作物之溫度。

3. 沖除屑片。

增進工作物表面之光平度。

5. 減少動力消耗。

6. 增加工具壽命。

7. 增加工作物及機器上可能之腐蝕。

8. 阻止屑片因磨擦而熔接於工具面上。

冷却劑必須具有：無碍於操作人員之健康，不損害機器，富安全性，良好的熱傳導性，不揮發性，不起泡沫，潤滑性，及高的閃點（flash point）溫度。

固體，包括工作物本身所含之元素，如鑄鐵中之石墨，能增進切削能力，亦如液體注射於屑片與工具之間。液體冷却劑，主要有加入適當加入劑以增加效能之水基及油基溶液兩種。氣體有水汽、二氧化碳，及壓縮空氣等。實際所使用者，絕大多數皆為液體，這是因為其易於引至任何處所之工具上，且易於循環。

化學冷却劑是用化學劑溶於水中而成。其目的為冷却，但亦可作冷却及滑潤双重目的之用。所用化學劑有：

防銹用之胺類及亞硝酸鹽類。

穩定亞硝酸鹽之硝酸鹽。

使水軟化之磷酸鹽及硼酸鹽。

滑潤及減少表面張力之肥皂及濕潤劑。

作化學滑潤用之磷、氯及硫之化合物。

作滑潤之氯。

作混合劑及保濕劑之乙二醇。

控制細菌生長之殺菌劑。

使用冷却劑之利益在於使工具冷却及減少阻力，特別是工具與屑片間之阻力。由於屑片及加工後工作物之粗糙關係，少量之冷却劑可受力壓入切刃上。使用冷却劑的最好方式是使其流入工作物與工具之間，如屬可

能，或工具與屑片之間。若大量使用令其氾濫的方式，並不若將其引至工具工上為優。工具及工作物的震動，有助於將冷却劑泵入至切刃之功用。微細管作用及滑潤劑的揮發，也可維持切刃於低溫及得到滑潤的功用。

冷却劑之種類甚多，選用時視工作物的材料及操作的方式而異。下列各種為普通常用材料而無化學作用之冷却劑：

鑄鐵 空氣、水溶性油，或乾切削。若使用壓縮空氣，必須有排氣系統以除去細微鐵粉。

鋁 煤油滑潤劑，水溶性油，或蘇打水。蘇打水為水中加入少量之鹼類，有阻止氧化作用。

可鍛鑄鐵 乾或水溶性油；潤劑。後者包括用苛性蘇打、硫化油、肥皂及其他成份等使輕級礦物油與水混合，懸浮於水中，而成一種乳狀液。

黃銅 乾切削、石蜡油，或猪油之化合物。

鋼 水溶性油、硫化油，或礦物油。

熟鐵 猪油或水溶性油。

砂輪的磨削用蘇打或碳酸鈉等鹼類溶於水中，有防銹作用，再加入少量之油使蘇打懸浮。輪磨用的冷却劑不但能很有效的冷却作用，同時也能維持砂輪清潔。懸浮式的水溶性油，有牛乳的外觀，為各種中最常用者。

切削性及表面光平度

切削性 (machinability)，即某種材料之易於切削之性質，受工具的材料及其影響甚巨。切削性僅是一種比較性的名辭，而並無絕對的單位，僅能用工具的壽命及切削所需之動力，切除某一定量材料之費用，或所得表面情況等表示之。就加工成本而論，上列各因素中之最重要者為工具的壽命，各手冊中所列切削性之數值，皆以此為根據。

有若干機件，在應用上的強度之重要性，並不如其切削加工上的經濟