

136537

哈 尔 滨 工 业 大 学

金 屬 工 藝 学

(切削加工部份)

适用：机器制造系，机械工艺系，动力机械系，电机系

下 册

張 学 仁 編

对

1958年 6 月

76/08

前 言

本讲义系根据我校具体情况并参考苏联莫洛托夫动力学院 1955 年电机制造专业的教学大纲编写而成。分上下两册出版。上册内容为冶炼、金属学、铸造生产、压力加工和焊接等五部分；下册是金属切削加工部分。

上册由金属工学教研室范广信、罗继文、纪雨烈、王恒富、宋安仁五同志编写；下册由张学仁同志编写。

本讲义可作为电机类各专业学习“金属工艺学”课程时的主要参考教材，同时也可供非机械类其它专业参考。

本讲义的讲授时数约 72~90 学时。（学时分配大致如下，冶炼 8 学时，金属学 16 学时，铸造、压力加工及焊接各 12 学时，金属切削加工 30 学时）。

由于编者水平有限，错误与缺点在所难免，希望读者指正，以便修改。

编 者

目 录

第六編 金属切削加工

第一章 金属切削加工的基本知識

- § 1 机械加工的主要方式和切削过程的要素..... 1
- § 2 刀具的几何形状及制造刀具所用的材料..... 2
- § 3 切屑的形成过程, 切屑的种类及切削过程中伴生的物理现象..... 6
- § 4 切削力..... 9
- § 5 切削热, 刀具磨损及刀具耐用度..... 10
- § 6 切削速度..... 12
- § 7 提高生产率的途径..... 14

第二章 机床的基本知識

- § 1 机床的分类及编号..... 16
- § 2 机床的驱动及传动..... 20

第三章 車削加工

- § 1 車床..... 25
- § 2 車床上可做的工作及其所用的夹具和刀具..... 27
- § 3 車床类其它机床..... 32

第四章 鉗削加工

- § 1 麻花钻头, 擴孔鉗及鉸刀的構造..... 35
- § 2 鉗孔的切削用量..... 37
- § 3 鉗床及其工作..... 38

第五章 銑削加工

- § 1 銑削原理..... 42
- § 2 銑床..... 46
- § 3 銑床上可做的工作..... 50

第六章 鉋、插及拉削加工

- § 1 鉋削加工..... 54
- § 2 插床及其工作..... 57
- § 3 拉削加工..... 57

第七章 磨削加工

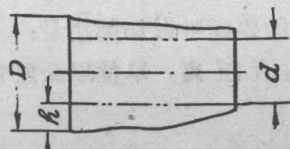
- § 1 磨削原理..... 60
- § 2 磨床及其工作..... 63

§1 齒輪加工的概念.....	67
§2 電火花加工.....	69
§3 陽極機械加工.....	71

第六編 金屬切削加工

第一章 金屬切削加工的基本知識

凡是使用切削刀具从毛坯上切下金属層，以獲得在形狀，尺寸精確度和表面光潔度上均合乎另件圖紙要求的加工方法叫做金属切削加工（以后简称切削加工）。用手工具來切去金属層的方法叫做鉗工，在金属切削机床上切去金属層的方法叫做机械加工。鉗工，体力劳动比較重，而机械加工可以大大的減輕体力劳动，因此應該尽量用机械加工來代替鉗工，但在装配和修理机器时仍不得不用鉗工，为了改善工人劳动条件今日的鉗工已逐步向机械化的方向發展。



D—毛坯直徑 d—加工后的直徑

圖 1 加工裕量 $h = \frac{D-d}{2}$

在切削加工过程中被切下金属層的总厚度叫作机械加工裕量如圖 1 示（以后简称加工裕量）。加工裕量的大小与毛坯制造的精度有直接的关系，据統計在大量生產中有 5%~15%（按重量計）毛坯上的金属要被切下變成切屑，在小批和單件生產中由于毛坯制造的精度低，裕量增大，使變成切屑的金属达毛坯原始重量 25%。加工裕量太大使金属、电力及時間造成浪費而增加了制造

成本，因此設法提高毛坯制造（鍛造，冲压及鑄造）的精度和表面質量是降低切削加工成本的重要途徑。

現代的机器和仪器要求較高的精密度，也就是对零件的形狀，尺寸精確度和表面光潔度提出更高的要求，这些要求只有用切削加工的方法最易保証，因此切削加工在机器制造業中所占的比重是非常大的，据估計在中型机器制造業中切削加工成本占成品成本的 50~60%。

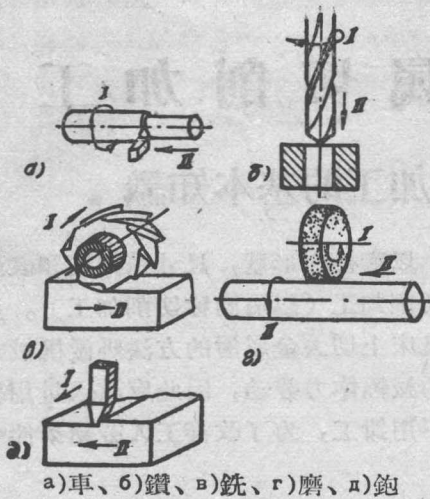
§ 1 机械加工主要方式和切削過程的要素

机械加工的主要方式有車、鉗、銑、鉋及磨等，它們在進行加工时都靠兩类运动的配合來实现切削工作，如圖 2 示，I 是主运动，它是切削的基本运动，消耗主要动力；II 是輔助运动，它是使新的金属不断投入切削的运动。由圖中可以看出主运动或輔助运动可以分別由工件和刀具來完成，或都由刀具來完成，如鉗削。

加工方式不同，所用的刀具，机床及切削时的运动形式也都不同，但是仔細分析則可看出它們在本質上还存在着很多共同之点，車削加工是在各种加工形式中最基本和最具有代表性的一种，故本章以后的內容多以車削为出發点來認識它們共同的規律。

切削过程所研究的对象应包括：被加工零件，切削刀具，它們之間的相对运动，实现这种运动所必需的机床以及由这种运动实现結果所引起的工件、刀具、夾具和机床的變化。以后將分別叙述。为了以后學習方便，下面先解釋一些名詞。

被加工零件上的表面：如圖 3 示，1 为待加工表面——工件上即將切去切屑的表



a) 車、б) 鑽、в) 銑、г) 磨、д) 鉋
圖 2 機械加工的主要方式

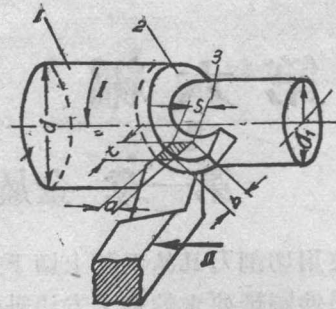


圖 3 車削外圓

面；2 为加工表面——工件上主切削刃正在切削着的表面；3 为已加工表面——工件上已切去切屑的表面。

要完成切削工作必需具有下列三个不可缺少的要素叫做切削用量：

1. 切削深度 t ——工件已加工表面和待加工表面間之垂直距离，單位以公厘表示。

当縱向車削时（圖 3），按下式計算：

$$t = \frac{d - d_1}{2} \text{ 公厘}$$

式中： d ——切去切屑前工件之直徑（公厘）；

d_1 ——切去切削后工件之直徑（即已加工表面的直徑）（公厘）。

2. 走刀量 S ——工件每轉一轉时刀具与工件在走刀方向相对移动之距离，單位为公厘/轉。

3. 切削速度 V ——工件和刀具沿主运动方向之相对速度（以待加工表面上的相对速度表示之）。实际上它就是工种上待加工表面外圓的切線速度（圖 3），可按下式計算：

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \text{ 公尺/分}$$

式中： d ——加工前工件的直徑（公厘）；

n ——工件每分鐘的轉數（轉/分）。

切削面積可由下式計算：

$$f = t \cdot S = a \cdot b \text{ 公厘}^2 \text{ (圖3)}$$

式中： a ——在刀具移动 S 公厘前后兩個加工表面間之垂直距离（公厘），叫切削厚度；

b ——在工件待加工表面和已加工表面間沿主切削刃的距离（公厘），叫切削寬度。

§ 2 刀具的幾何形狀及制造刀具所用的材料

凡用來切下切屑的工具叫刀具。刀具的种类甚多，依加工方法不同而異，但外圓車刀是最有代表性的，下面以外圓車刀为例來進行研討。

1. 刀具的几何形状：

外圓車刀由刀头和刀桿兩部分構成（圖4a）。刀桿 II 是把刀具夾持在刀架上用的，刀头 I 直接擔負了切削工作。因此，刀头部分的材料及幾何形狀直接影響着工件的表面質量（冷硬層和表面光潔度），机床動力的消耗和勞動生產率的提高等。故有必要對它們進行進一步的研討，為了便于研討首先應確定一些基本定義。

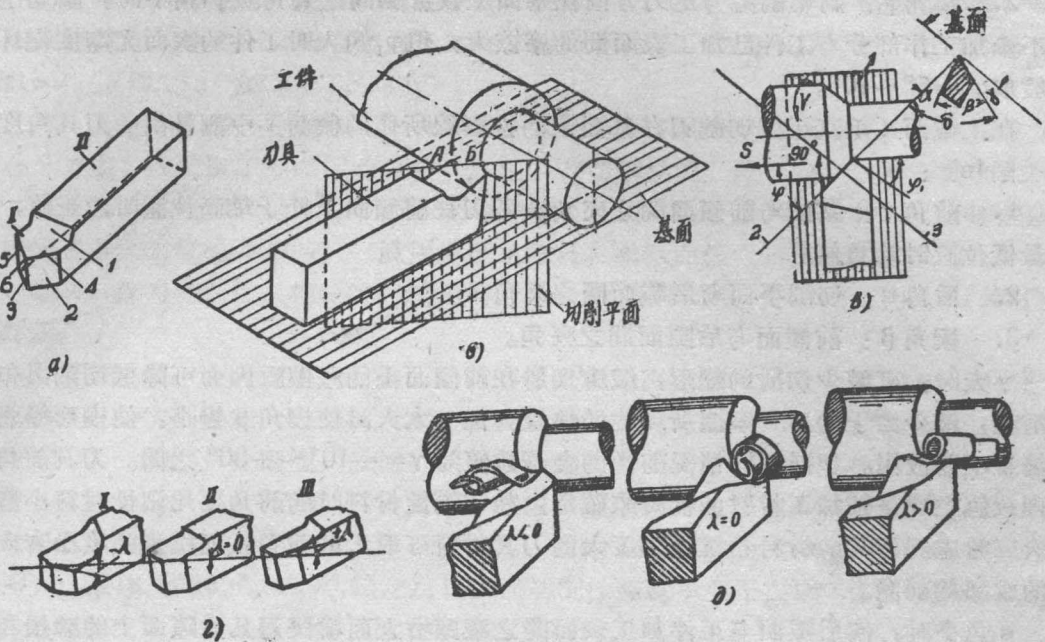


圖 4 車刀的幾何形狀

刀头上的三個面：（參看圖4a）。

1. 前傾面：切屑沿着它流出去的表面（表面1）。
2. 主後隙面：和工件加工表面面對着的表面（表面2）。
3. 副後隙面：和工件已加工表面面對着的表面（表面3）。

二個刃：

1. 主切削刃：前傾面與主後隙面之交綫，它完成主要的切削工作（刃4）。
2. 副切削刃：前傾面與副後隙面之交綫，它也起切削作用（刃5）。

兩個切削刃之交點叫做刀尖（交點6）。

兩個座標平面：

1. 切削平面：（圖66）包含主切削刃上的一點而又切於加工表面之平面，即為該點之切削平面。

2. 基面：（圖46）通過主切削刃上某一點而又垂直於主運動方向的平面，即為該點之基面。它與切削平面垂直。圖中與此面平行的面也叫基面。

下面研討構成刀具幾何形狀的各角度，為了便于進行比較，刀具上的各角度只能在規定的平面中去度量。下面就从規定的平面中研討各角度：

在基面投影上測量出的刀具角度如下：（圖4b）。

1. 導角 φ ：主切削刃與走刀方向在基面上投影綫間之夾角。 φ 角小時（在不改變

t 和 S 之情況下) 切削寬度 b 增大, 使主切削刃參加工作的長度增加, 因此切削時所生的熱量比較容易散出, 對刀具工作的條件有好处, 但是由於參加切削工作刀刃的增長而使摩擦所生的切削力相應增加。另外 φ 角還可以用來調整切削力的分布。一般常用的 $\varphi = 30^\circ \sim 75^\circ$ 之間, 常用者為 45° 。

2. 離角 φ_1 : 副切削刃與走刀方向在基面上投影線間之夾角。 φ_1 角小時, 副切削刃上不參加工作部分與工件已加工表面間的摩擦大, 但 φ_1 角大時工件的表面光潔度變壞。一般取 $\varphi_1 = 5^\circ \sim 10^\circ$ 。

在主截面 (垂直於主切削刃在基面上的投影線所作的截面) 中測量出的刀具角度如下 (圖 4B):

1. 前角 γ : 基面與前傾面間之夾角。刀刃在前傾面上處於最高位置時為正值; 處於最低位置時為負值。

2. 後角 α : 切削平面與後隙面間之夾角。

3. 楔角 β : 前傾面與後隙面間之夾角。

γ 大時, 可減少切屑的變形, 減少切屑在前傾面上的摩擦, 因而可降低切削力和動力消耗, 減少由於變形和摩擦所產生的熱量。但 γ 太大時使楔角 β 變小, 使楔形變弱, 且熱量不易散出。根據不同情況前角的合理數值為 $\gamma = -10^\circ \sim +30^\circ$ 之間。刀具前角的合理數值主要是按加工材料的性質來確定, 如切脆性材料時的前角要比塑性材料小些, 其次應考慮到刀具的材料, 抗張強度大的刀具材料可取大的前角, 而抗張強度小者應取小的或負的前角。

α 角小時, 使後隙面與工件加工表面間之摩擦增大而增快刀具後隙面上的磨損和使工件表面質量變壞, α 角大時上述壞影響可以減少, 且刀刃的圓角半徑 ρ^* 變小, 而使得在切削厚度很小時也能順利的切下切屑, 但 α 太大時 β 變小也不好, 一般 $\alpha = 4^\circ \sim 12^\circ$, 精加工時切削厚度 a 較小故 α 宜取大些以使 ρ 小易切下切屑。

因 $\alpha + \beta \pm \gamma = 90^\circ$ 故 β 之值取決於 α 及 γ (式中正前角時 γ 取正量, 負前角時 γ 取負量)。

在切削平面中測量出的角度 (圖 4r):

刃傾角 λ : 主切削刃與基面間之夾角。當刀尖是主切削刃上最低一點時, λ 為正值。當刀尖是主切削刃上最高一點時, λ 為負值。

λ 角的作用是控制切屑流出的方向 (如圖 4π) 及增加刀刃的強度, 如在粗加工時應取正 λ 以使刀刃增強, 而精加工時宜取負 λ 以使切屑流出時不致碰傷已加工表面。一般 $\lambda = -3^\circ \sim +10^\circ$ 。

2. 刀具材料

正確選用現有刀具材料及發現新的刀具材料對提高勞動生產率的作用是很大的。作為刀具切削部分的材料應該滿足下列要求:

1. 刀具材料之硬度必須大於工件材料的硬度, 否則將無法由工件上切下切屑。
2. 必須具有高度的耐磨性。
3. 必須具有足夠的強度, 韌性, 以承受切削力和沖擊。

* 註 (1) ρ 表示刀刃圓角半徑。

4. 必須具有高度的耐熱性，所謂耐熱性，即在高溫中仍能保持以上三種性能的性質。

現在常用的刀具材料如下：

1. 碳素工具鋼：含碳量0.75~1.5%，淬火後硬度可達 $R_c=61\sim65$ ，其優點為低廉，刀刃可以磨得尖銳；缺點是耐熱性低，在 $200\sim250^\circ\text{C}$ 時就喪失其切削性能，一般只用來製造切削速度不大的手用刀具如鉗工用的手絲錐，鉸刀和銼刀等。常用牌號有：

* $\Delta 10\text{H}$ (Y10A)； $\Delta 12\text{H}$ (Y12A)。

2. 合金工具鋼：含碳量0.9~1.1%，它與碳素工具鋼的區別是還含有鉻、鎢及其它合金元素，或增加了矽或錳的含量，以提高其切削性能。淬火後硬度與碳素工具鋼同，其優點為熱處理時變形很小，不易生裂紋，且耐熱性可達 $350^\circ\sim400^\circ\text{C}$ ，切削速度比碳素工具鋼略可提高20%。一般用以製造細長，或斷面較大，刃形複雜的刀具，如拉刀、鉗頭、鉸刀、絲錐及板牙等。常用牌號有： $9\text{H}\text{T}$ (9XC) 鉻矽鋼； $9\text{H}\text{X}\text{L}$ (XBT) 鉻鎢錳鋼。

3. 高速鋼：合金鋼中含有鉻和鎢特別多者稱為高速鋼。其中含W約9~20%；Cr約3~5%，故切削性能大大提高，在淬火及回火後硬度為 $R_c=62\sim65$ ，其優點是耐熱性提高至 $500^\circ\sim600^\circ\text{C}$ 之高溫，故切削速度較碳素工具鋼高2~3倍，且熱處理時變形也比碳素工具鋼小（但不及 $9\text{H}\text{T}$ 及 $9\text{H}\text{X}\text{L}$ ）所以高速鋼為目前最主要刀具材料之一。它可用來製造形狀複雜的重要刀具，如成形車刀，齒輪刀具及拉刀等。常用牌號有： $\Delta 9$ (P9)； $\Delta 18$ (P18)。 $\Delta 9$ 含鎢比 $\Delta 18$ 少而切削性能並不亞於 $\Delta 18$ ，但因含鈮較多不易磨出光潔的表面，為了節省鎢只有外形必須磨制的刀具才用 $\Delta 18$ 來製造。

4. 硬質合金：它是用鎢、鈦、鈷和碳的粉末在 $1500\sim1550^\circ\text{C}$ 燒結而成，其硬度達 $R_A=87\sim91$ ，其耐熱性提高到 $850^\circ\sim1000^\circ\text{C}$ ，因此切削速度可比高速鋼刀具提高4~10倍，常用硬質合金分兩類：

a) 鎢鈷類 (BK)：它是由碳化鎢 (WC) 和碳化鎢在鈷中的固溶體所組成，WC是具有高硬度和耐熱性的材料，而Co只起粘結劑的作用，故含Co多時合金的硬度及耐熱性也降低。

b) 鎢鈦鈷類 (TK)：合金中除含鎢，鈷外還含有鈦的成分，因此合金之組成為 $\text{WC}+\text{TiC}+\text{Co}$ ，加Ti入後使合金與鋼的熔接溫度提高，並使摩擦系數降低，因而提高了合金的耐熱性。

總的說來，BK類韌性好，但耐熱性及與鋼熔接的溫度低，故不宜用於切削鋼，而用於切鑄鐵。TK類性脆怕衝擊，但耐熱性高，與鋼熔接溫度高，故宜用於切削鋼。

常用硬質合金的牌號及化學成分如下表所示；

不論TK或BK類，凡合金中含鈷多的，均用於粗車，而含鎢或鈦多的切削速度可以高些，故用於半精車或精車。

5. 非金屬材料：這是一種新型的刀具材料，在蘇聯發明了用燒結鋼玉（主要成分是 Al_2O_3 ）來做刀具切削部分的材料。它的硬度為 $R_A=86\sim96$ ，能耐 $1,200^\circ\text{C}$ 的高溫，這種刀具材料所制的刀又名磁刀。現在磁刀的切削速度可增加到高速鋼的15倍，而它的

* 註 (2) 括號外的為中國牌號，括號內為蘇聯牌號。

牌 号	碳 化 鎢 WC	碳 化 鈦 TiC	鈷 CO
BK ₈	92	—	8
BK ₆	94	—	6
BK ₃	97	—	3
T ₅ K ₁₀	85	5	10
T ₁₅ K ₆	79	15	6
T ₃₀ K ₄	66	30	4

价格却比硬質合金便宜15倍。磁刀的缺点是：①韌性差，怕冲击。②抗弯强度低。故目前局限用于精車及半精車。我國的陶瓷業有悠久的歷史，1954年中國科學院陶瓷冶金研究所試制成功了瓷刀（即燒結鋼玉），瓷刀的价格僅为硬質合金的五十分之一，但它還存在着性脆，導熱系数小，摩擦大等缺点而使刀具使用時間不長，这些問題的解决有待于進一步的研究。

§ 3 切削的形成過程，切屑的種類及切削過程中伴生的物理現象

根据理論与實驗証实：塑性金属的切削过程相当于金属的挤压过程。因此金属在切削过程中產生變形和断裂，这种變形和断裂影響着机床动力的消耗和加工工件表面質量，因此需要加以研究。茲叙述如下：

(一) 切屑的形成过程：如图5示，塑性金属變为切屑的过程，大致分为四个階級：

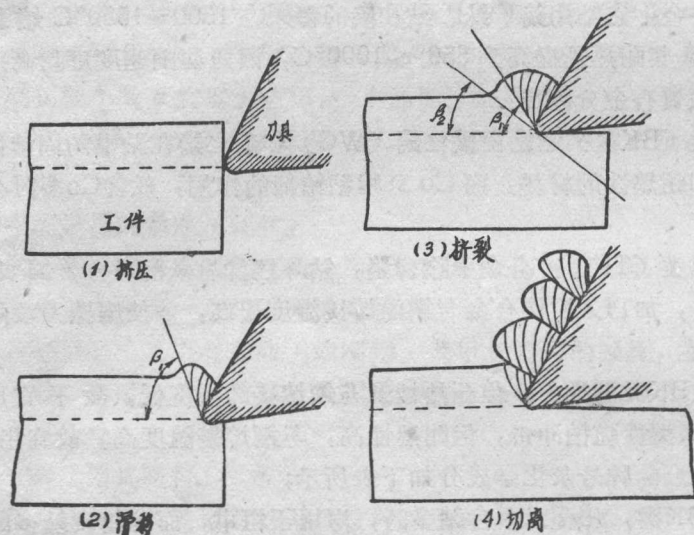


圖 5 金屬切削的大致過程

(1) 挤压：刀具与工件接触时，工件接触处受到压力，工件上局部材料發生彈性變形。

(2) 滑移：当刀具繼續前進时，被加工材料內部应力不断增加，当应力达屈服点后，金属晶格彼此間沿着一定的結晶面和一定的方向產生相对移动，称为滑移。滑移已

属于塑性變形範圍，滑移后在切屑上出現滑移線，滑移線的方位以滑移角 β_1 表示，滑移線只能說明金属產生了塑性變形，但並無裂紋。

(3) 挤裂: 当刀具再繼續前進时，被加工材料内部应力不断增加，当应力达到断裂点时，金属就在某一面上產生裂痕，称为挤裂線，它的位置以挤裂角 β_2 表示。

$$\beta_2 = 23^\circ \sim 45^\circ$$

(4) 切离: 当刀具再往前走时，被挤裂的这块金属与工件表面分离，並漸漸脱离前傾面滑出而形成切屑。这块切屑的變形到此終止，这个过程称为切离。刀具再繼續前進开始接触新的金属而由挤压开始重复上述过程。

必需指出上述四階段实际上是連續進行的，中間並無間歇。上述四階段不是在加工各种材料时都会產生的，如加工脆性材料灰口鑄鐵时，2, 3兩個階段几乎不存在。由于切屑形成过程不同，机床动力消耗、工作条件、工件表面質量等均不同，而且切下的切屑也不同。因此在一般情况下往往可由切屑外形推断、比較机床动力消耗及工件表面質量。

(二) 切屑的种类: 由于加工材料的性質、刀具的几何形狀及切削用量不同，使切下切屑的外形也不同，通常將它分为三类: 如圖 6 示。

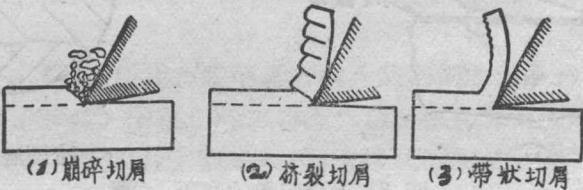


圖 6 切屑種類

1. 崩碎切屑: 用大前角刀具在低速下切削脆性金属 (如灰口鑄鐵) 时得。它的外形是大小不均且互相分离的細粒及粉末。

2. 挤裂切屑: 在用低速，大走刀量，小前角切削中等硬度的鋼时得。切屑在靠刀的一面很光滑，反面有明顯的裂縫，得到的切屑是一節一節的短条。它的形成过程經歷了四个階段因此變形最大，發热也最多。

3. 帶狀切屑: 当用高的切削速度，小走刀量及大前角切削很韧的金属 (如軟鋼时)，切屑就成帶狀由前傾面流出。切屑上靠刀具前傾面的面很光滑，反面呈毛茸狀，但看不出裂紋或關節。

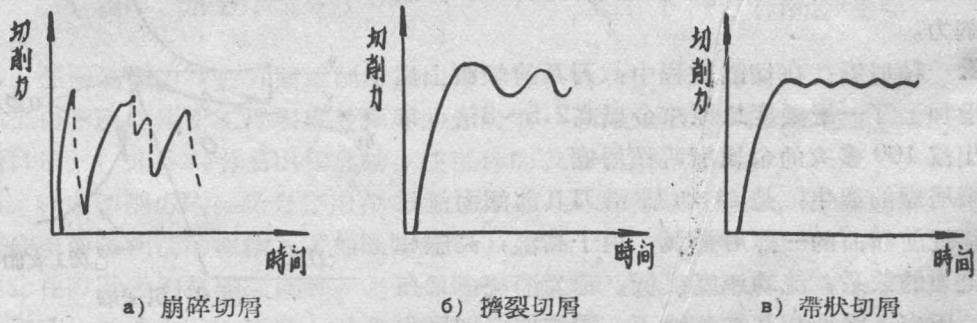


圖 7 不同種類切屑的切削力变化示意图

当得到不同种类切屑时，切削力的变化情况如图7示。由图中清楚的看出崩碎切屑切削力变化最大，带状切屑切削力变化最小。在一般情况下挤裂切屑切削力最大，崩碎切屑切削力较小，故得到挤裂切屑时，机床动力消耗较大。崩碎切屑切削力与切削热均集中于刀尖处，且切削力变化大，因此有震动；又由于切屑与加工表面的崩裂面是极不规则的，所以工件表面光洁度低。挤裂切屑比崩碎好些但仍有震动，带状切屑无震动，工件加工表面光洁度高。

一般最希望得到带状切屑，有时可以通过调整刀具的几何形状及切削用量实现。但带状切屑连绵不断，可能缠住工件或割伤工人，因此必需设法折断它。

(三) 切削过程中伴生的物理现象：

切削过程中伴生的物理现象对工件表面质量及切削过程均有影响，因此值得注意。

1. 已加工表面的冷硬现象：在切削过程中，不单是切屑产生变形，而且工件上受

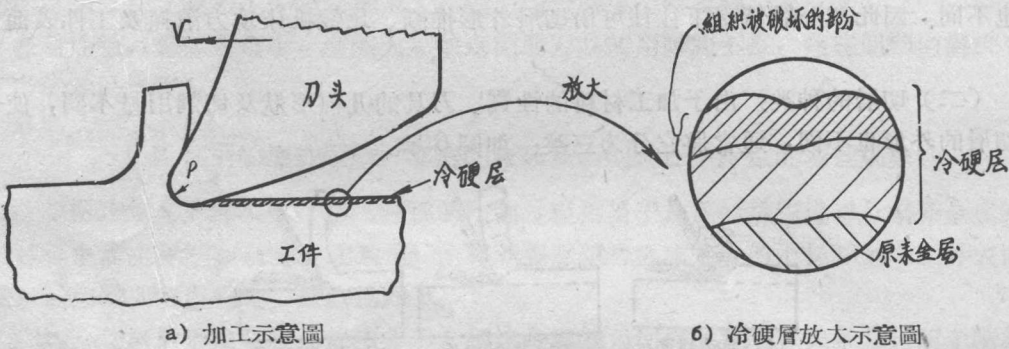


图8 冷硬现象的产生

切削力作用的部分也产生变形，又由于刀尖并非理想的尖锐，故一部分金属被刀刃圆弧部分的下方挤压而过，使金属受到压力及摩擦力，受压力及摩擦的表面，当刀尖越过后又受到张应力。这部分金属经过这种塑性变形后，产生变形部分的硬度及强度都增高，如图8示，这层高硬度的金属叫冷硬层。冷硬现象最大是已加工表面的表层，它在较大的压力，摩擦力和温度的作用下，金相组织已发生变化和损坏。冷硬层性硬而脆，且有内应力，一般表皮都被擦伤，出现小裂缝，因此冷硬后工件的疲劳强度会下降。若工件还要经下一道工序继续加工时，冷硬层使下一道工序的加工裕量增加。因此冷硬现象是不好的，应设法减小，其途径为：(1) 磨锐刀具，(2) 减小切削力。

2. 积屑瘤：在切削过程中，刀具前倾面上产生(增加)了一层硬度比原来金属高2.5~3倍，每秒出没过100多次的金属屑叫积屑瘤。

积屑瘤的产生，是当切屑沿刀具前倾面流过时，靠近前倾面的一薄层金属，由于高温，高压和摩擦阻力的关系，流动速度很低，称为滞流，又在一定的压力，温度和其它条件下，滞流层与切屑内

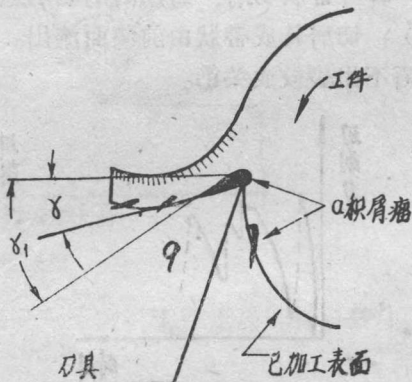


图9 积屑瘤

部的摩擦力小于滯流層与前傾面的摩擦力，因此滯流層就脱离切屑而粘附在前傾面上，这就形成了積屑瘤。由于切屑不断流过，積屑瘤也不断的長大，当長大至某高度时由于所受力增大而从前傾面脱落，一部分附着于工件表面上，另一部分被切屑帶走。積屑瘤有保护刀尖减少磨損的作用，并且它使前角增大（如图9中 $\gamma_1 > \gamma$ ）减少机床动力消耗。它的缺点是损坏了已加工表面質量，这对精加工是有害的。应設法利用它有利的一面而避免有害的一面。粗加工时希望它產生，可以保护刀尖及减少动力消耗，而精加工时对表面質量要求高，故不希望它產生。

研究指出：速度低，前角大故温度低不会產生積屑瘤，反之当速度高，前角小温度很高也不会產生積屑瘤，而在上述二情况之間就会產生。当然我們應該采用提高速度的方法來避免積屑瘤產生，以免降低生產率。

§ 4 切 削 力

这里所指的切削力是使金属產生變形、切离及克服刀具前傾面和后隙面上摩擦的力。上述各力的方向和大小都是很不一致的，但无论如何可將其綜合得到一合力 P 。如图10示。我們探討切削力的目的是在于確定切削力对零件加工精確度，机床动力消耗，机床及刀具的强度及磨損的关系等，而合力 P 不能滿足这些要求，故一般均將 P 分成下列三个分力：

1. 垂直分力 P_z ： P_z 是作用在主运动方向上的切削力，故最大，因此称为主切削力。車削时动力主要（99%）消耗于 P_z 力所作之功。在計算机床的动力消耗，机床剛度，刀桿和刀片强度时，必需以 P_z 为根据。在选择切削用量計算机床扭矩时也要按 P_z 來計算。

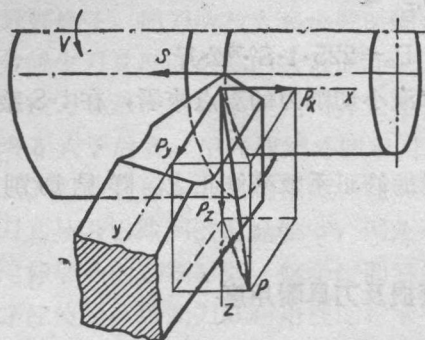
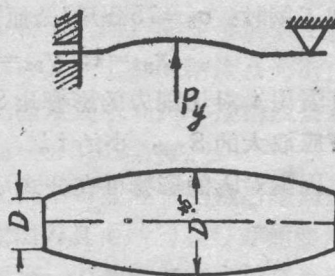


圖10 切削力及其分力



a) P_y 使工件彎曲的示意圖

b) 加工后得到甬狀工件

圖11 P_y 對工件精度的影响

2. 徑向切削力 P_y ：外圓車削时徑向力 P_y 并不做功，因为切削时刀具不沿吃刀方向移动。但由于 P_y 作用于工件剛度最不好的方向上，因此使工件弯曲影響工件的精確度（如图11示），此外 P_y 容易引起震动，使工件的表面光潔度變坏。

3. 軸向切削力 P_x ：此力作用在走刀方向上，故又名走刀抗力。 P_x 最后傳到溜板箱中与床身上齒条相接的齒輪上（如图30第44）。

因此在設計走刀機構强度时，必需知道 P_x 之值。 P_x 也消耗动力，但因为刀具沿走刀方向的速度比工件主运动速度小得多，所以 P_x 所消耗的动力不过 1 % 左右，一般略去不

計。

上述三力的大小，当刀具具有下列角度时： $\varphi=45^\circ$ ； $\varphi_1=10^\circ\sim5^\circ$ ； $\gamma=20^\circ\sim25^\circ$ 互相間存在着下列比例关系：

$$P_z:P_y:P_x=1:0.4:0.25 \quad P=\sqrt{P_z^2+P_y^2+P_x^2}\approx 1.1P_z$$

由上面式子中可以看出，主切削力 P_z 差不多就等于合力 P ，因此在計算机床动力时均以 P_z 代替 P 。上面式子中所表示各力的比例，当刀具角度，切削用量改變及刀具磨鈍时，比例也就随之改變了。这种改變有时是很有用的，如 P_y 力太大使工件的誤差超过允許量时，可使 φ 角增大些以便减小 P_y 之值，其理由如下(參看圖12)： P_N 为 P_x 及 P_y 之合力。由圖中可看出 φ 角增大时 P_x 增大， P_y 之值减小。

由上面的叙述可知，在設計机床和决定切削用量时都需要知道切削力的大小，故下面談確定切削力的方法。

確定切削力数值的方法：(1) 切削力可以用測力儀來測量。(2) 可以用經驗公式來計算。切削力的大小受很多因素的影響，如工件材料的强度大、切削深度和走刀量大、前角、后角及切削速度小时比与上述情况相反时的切削力大。但对切削力影響最大的是被加工工件的材料、切削深度 t 和走刀量 S 。一般 P_z 之值可用下式計算出來：

$$P_z=C_{pz}t^{x_{pz}}\cdot S^{y_{pz}}\cdot \text{公斤}$$

式中： C_{pz} ——与工件材料强度及加工方法有关的常数。

x_{pz} 及 y_{pz} ——与工件材料强度及加工方法有关的指数。

如加工鋼时： $\sigma_b=75\text{公斤/公厘}^2$ ， $C_{pz}=225$ 。

$$x_{pz}=1; y_{pz}=0.75。故 P_z=225\cdot t\cdot S^{0.75}\text{公斤}$$

上式中可看出 t 对切削力的影響比 S 大，故从减小切削力的观点來看，在 $t\cdot S$ 乘積不變的情况下应取大的 S ，，小的 t 。

其它因素对 P_z 的影響可在公式后面乘适当的修正系数來修正之。詳見切削用量手冊。

§ 5 切削熱，刀具磨損及刀具耐用度

(一) 切削熱：

切削金属时99.5%的功均轉變為熱能，切削时所做的功为：1) 彈性變形功(極小) 2) 塑性變形功，3) 刀具前傾面与切屑摩擦功及后隙面与工件摩擦所耗之功。当切削塑性材料时，如切削速度不高，則切削熱的來源主要是塑性變形所耗之功，約占6/7；但切削速度高时，塑性變形減少，切削熱主要來源為摩擦所消耗的功。

切削熱由切屑、刀具、工件和空气傳出，圖13为用高速鋼車刀切削鋼料时切削熱傳出的情况。由刀具上傳出的切削熱是最值得注意的，若刀具温度太高时会降低刀具的硬度和耐磨性甚至使刀具失去切削的能力。因此应設法減少刀具上的热量。办法有下面几种：(1) 减小 V 、 t 及 S ，此法必然降低生產率，故不好；(2) 使用潤滑液以減少摩

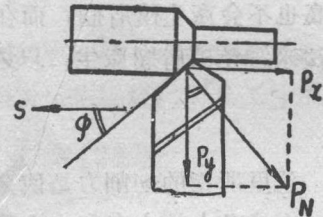


圖12 φ 角對 P_y 與 P_x 之影響

擦；（3）使用冷却液把热量帶走，一般冷却和潤滑液在一起使用的。为了不断的提高 V 、 t 及 S 以提高生產率，应不断發現耐热性高的刀具材料。

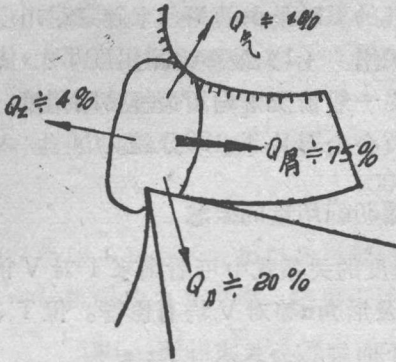


圖13 切削热傳出情况

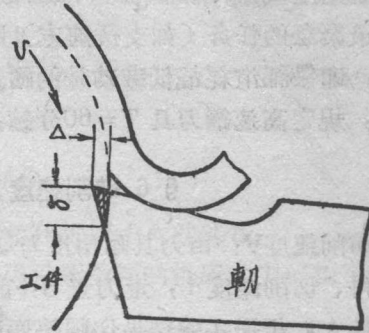


圖14 刀具磨損

（二）刀具磨損：刀具使用一定時間后由于下述原因而被磨損；1)机械摩擦，由于產生摩擦的表面高低不平，互相吻合处在磨損初期被磨平后，磨損的現象就減小。2)热磨損，切削时產生高温，使刀具材料的金相組織產生變化，硬度降低而被磨損。在極大多數情況下，热磨損是刀具磨損的主要原因。圖14为刀具磨損时的情况，刀具磨鈍后造成了下列不良后果：（1）影響加工精度，如圖中刀具开始工作时与磨損了 Δ 时所車出工件外圓直徑之差为 2Δ ；（2）增加动力消耗，刀鈍后切削力增大使动力消耗增加；（3）降低了工件的表面光潔度，刀鈍后刀具后隙面与工件的接触面增大，易生震动而降低了光潔度。因此应規定一个刀具磨鈍的数值，用 δ 表示，叫磨鈍标准。当刀具磨損至 δ 时就把刀換下來磨好刃再使用。 δ 的数值不应太小，不然刃磨好的刀剛裝上去使用不久就磨鈍至 δ 只好換下，換刀次数太多浪費時間，但当 δ 取得太大时，除了可能產生前述的缺点外，会減少刀具可能刃磨的次数而降低刀具使用寿命。当工件的精度及光潔度要求不高时，应按刀具最大寿命來規定 δ ，当工件精度及光潔度要求高时应按精度要求來規定 δ ，前者 δ 大于后者。用高速鋼外圓車刀車鋼料时 $\delta = 0.3 \sim 2$ 公厘。

（三）刀具磨損与刀具耐用度：在实际生產中工人不可能經常測量后隙面的磨損量來觀察刀具是否已鈍到磨鈍标准 δ ，因此必須先研究出刀具由新刃磨好开始使用起到磨損至磨鈍标准止的切削時間，这个時間叫做刀具耐用度。刀具磨鈍至磨鈍标准應該重新刃磨后才能使用，因此刀具耐用度即指兩次磨刀間刀具工作的時間，以 T 表示之，單位为分鐘。影響刀具耐用度的因素很多，但以切削速度影響最大。

（四）刀具耐用度 T 与切削速度 V 的关系：根据研究的結果它們之間存在下述关系：

$$V = \frac{A}{T^m}$$

A ——与工件及刀具材料切削深度，走刀量等有关之常数。

m ——与工件，刀具材料及加工方法有关的指数 $= 0.1 \sim 0.9$ 間。 m 数值越小表示 V 对 T 的影響越大。硬質合金的 m 比高速鋼刀具的大。 T 取多大最合适呢？ T 取大时，可以增加刀具的使用時間，但由上式中看出 V 必然要小而使生產率降低。当 T 取得小时，

速度可以高些似乎生產率可以提高，但是T 太小換刀時間必然增多，這樣生產率也會降低。因此應該科學的來決定 T 的數值。實際上有兩種決定刀具耐用度的方法：（1）最大生產率耐用度 T_0 ：即依製造一個工件所消耗的工時最少的原則來確定耐用度數值，只有在完成最緊急的任務（如支援前方）時才採用。（1）最經濟耐用度 T：使工件工序成本最低，即保證消耗最低勞動量的耐用度。一般情況下均用最經濟耐用度，根據研究計算結果，規定高速鋼刀具 $T=60$ 分鐘，硬質合金刀具 $T=90$ 分鐘。

§ 6 切削速度及選擇切削用量的概念

1. 切削速度V：由刀具耐用度與切削速度的關係式中可看出來 T 對 V 的影響。此外工件材料、切削深度 t，走刀量 S，前角 γ 及後角 α 等對 V 均有影響。但 T、S 及 t 對 V 的影響較大。根據實驗結果切削速度可用下面經驗公式來計算：

$$V = \frac{C_v'}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}} \text{ 可寫成 } T^m = \frac{C_v'}{V \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}} \dots\dots\dots (1)$$

式中： C_v' ——與加工材料有關之常數；
 x_v 及 y_v ——與加工材料有關之指數。

由實驗知 $1 > y_v > x_v$ ，即 t 對切削速度的影響比 S 小。其它因素對 V 的影響可用適當修正係數修正之。

在車削碳素鋼 $\sigma_b=75$ 公斤/公厘²； $T=60$ 分， $S \leq 0.25$ 公厘/轉時。

$$V = \frac{49.9}{t^{0.25} \cdot S^{0.33}} \text{ 公尺/分 } \dots\dots\dots (2)$$

當工件材料強度及刀具耐用度改變時式中的常數也要改變，當 σ_b 增且 T 取大時切削速度就相對地減小。若 t 及 S 為已知，用式（2）就可計算出在保證 $T=60$ 分的情況下應該取多大的 V 了。

2. 選擇切削用量的概念：合理的選擇切削用量可以充分的發揮機床和刀具的效能，使消耗工時最少，成本最低。簡而言之就是使單位時間內切下的切屑最多，即 $V \cdot S \cdot t$ 的乘積最大。由式（1）中可看出當工件材料及刀具耐用度取定之後 $V \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}$ 之乘積也就被限制住了，因此應設法在 $V \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}$ 之乘積不能增大的情況下，適當的選擇 t, S 及 V 使 $V \cdot S \cdot t$ 之積為最大。實際上 t, S 及 V 間存在着（1）式之關係，故欲增大三者之一，就必需減少其餘兩個。例如 t 取大時，S 及 V 必需減小才能保持正常的刀具耐用度，若 V 取大時，t 及 S 必需減小。值得注意的是上述兩種情況下 $V \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}$ 之乘積均相等，但 $V \cdot S \cdot t$ 的乘積卻不等。因此三者之中究竟那一個應最先盡量取最大呢，需加以進一步分析。由實驗知 $1 > y_v > x_v$ ，這表示 t 對耐用度影響最小，即當增大 t 的數值時 S 及 V 不必減小多少就能保證 T 不變，因此當如上述切削用量的提高受刀具耐用度 T 的限制時，應當先取大的 t，其次取大的 S，最後在保證一定 T 的情況下用與（2）相當的公式算出 V 來。

選擇切削用量的步驟如下：

（1）選擇刀具：按工件材料、機床動力及機床的性能等決定刀具材料，刀桿尺寸及刀具切削部分的幾何形狀。

(2) 决定切削深度 t : t 可取为等于工件的工序加工裕量 h 。

(3) 选择走刀量 S : t 既决定后, S 应尽量取大些。(因为它对 T 的影响比 V 小)。但是当 t 已定后 S 直接影响切削力的大小, 因此 S 应按刀具强度, 机床走刀机构强度, 工件刚度及工件表面光洁度等来综合考虑计算决定之。

(4) 决定切削速度 V 及转速 n : t 及 S 选定后, 可用与 (2) 式相当的公式求出切削速度 V , 並可用下式求出转速来:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \text{ 轉/分}$$

求出的 n 应按机床上具备的 n 加以适当调整, 以免在机床上无法实现。

(5) 校验机床动力及力矩: 采用上述切削用量所消耗的机床动力可用下式算出:

$$N_{\text{切}} = \frac{P_z \cdot V}{60 \times 75 \times 1.36} \text{ 仟瓦} \dots\dots\dots (3)$$

$N_{\text{切}}$ 应该小于或等于车床主电动机的有效动力 $N_{\text{电}}$, 即:

$$N_{\text{切}} \leq N_{\text{电}} \cdot \eta$$

η ——示电动机及机床的总有效系数。

若 $N_{\text{切}} > N_{\text{电}} \cdot \eta$ 时, 应设法减少式 (3) 中之 P_z 或 V , 由求 P_z 的公式中知 S 对 P_z 的影响比 t 小, 故当受机床动力限制而重选切削用量时应先选最大的 S , 其次再选 t 及 V 。但重选太繁, 因此一般仍用原来之 t 及 S , 而将 $N_{\text{电}} \cdot \eta$ 代替 (3) 式中的 $N_{\text{切}}$, 用式 (3) 改算切削速度。

除了校验动力外还要校验主轴在某转速下所能承受的力矩, 实际上也就是校验主运动系统中的机件 (齿轮) 强度, 若切削力矩 $M_{\text{切}}$ 大于该转速下齿轮所能承受的力矩 $M_{\text{轴}}$ 时, 就会损坏齿轮, 即希望:

$$M_{\text{切}} = P_z \cdot \frac{D}{2} \leq M_{\text{轴}}$$

D ——工件外圆直径 (公厘)。

若 $M_{\text{切}} > M_{\text{轴}}$ 时, 应减少 V 和 S 。 $M_{\text{轴}}$ 的数值可由机床说明书中查出。 M 之单位以公斤——公厘表示之。

(6) 计算基本工时: 决定了 t, S 及 V 后, 应计算出基本工时 $T_{\text{基}}$, 因为 $T_{\text{基}}$ 是衡量切削用量选择是否合理的标准。 $T_{\text{基}}$ 系指直接花费在切削过程上的时间, 可用下式计算, 参看圖15。

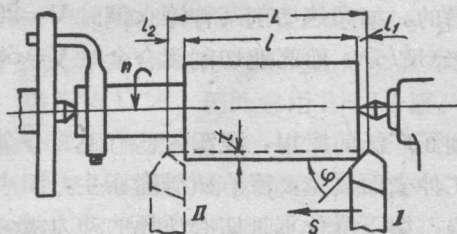


圖15 車外圓計算工时簡圖

$$T_{\text{基}} = \frac{L}{S \cdot n} \cdot \frac{h}{t} \text{ 分} \dots\dots\dots (4)$$