

机械加工工艺

(航空类设计专业适用)

西北工业大学

一九七七年元月

目 录

第一篇 机 械 加 工

第一章 车 削	1
§ 1. 金属切削加工基本知识.....	1
§ 2. 车床.....	13
§ 3. 车削加工的工件装卡方式.....	19
§ 4. 车削工艺.....	23
第二章 铣 削	33
§ 1. 铣削基本知识.....	33
§ 2. 各种铣刀.....	39
§ 3. 铣床.....	45
§ 4. 提高铣削生产率的措施.....	48
第三章 钻孔、扩孔和铰孔	51
§ 1. 钻床.....	51
§ 2. 钻孔和扩孔.....	54
§ 3. 铰孔.....	66
第四章 磨 削	71
§ 1. 磨削运动.....	71
§ 2. 砂轮.....	74
§ 3. 磨削过程的基本概念.....	78
§ 4. 磨床.....	80
第五章 螺纹加工	82
§ 1. 螺纹的分类和技术要求.....	82
§ 2. 螺纹的加工方法.....	82
第六章 光整加工	87
§ 1. 研磨.....	84

§ 2. 珩磨	90
§ 3. 超级光磨	94
§ 4. 双轮超精加工	97
§ 5. 液体抛光	99
§ 6. 抛光	102

第二篇 工艺规程编制及机床夹具设计

第七章 机械加工工艺规程编制	104
§ 1. 工艺规程编制概述	104
§ 2. 工件的安装基准	113
§ 3. 在编制工艺路线时要处理的几个问题	118
§ 4. 工艺规程编制的内容和步骤	121
§ 5. 工艺尺寸链计算	126
第八章 机床夹具设计	139
§ 1. 定位原则和定位件	139
§ 2. 夹紧原则和夹紧件	147
§ 3. 典型机构	149

第三篇 典型另件加工

第九章 齿轮加工	158
§ 1. 齿轮的基本要求及加工方法	158
§ 2. 圆柱齿轮的齿形加工	162
§ 3. 圆柱齿轮加工工艺	171
§ 4. 锥齿轮加工	175
第十章 活门类另件加工	180
§ 1. 活门的构造、技术条件与材料	180
§ 2. 工艺路线分析	181
§ 3. 重点工序的进行	189
§ 4. 分油活门设计, 工艺尺寸链的换算及校验	197
第十一章 转子加工	203
§ 1. 转子构造技术条件及材料	203
§ 2. 转子工艺路线的制订	205

§ 2. 重点工序的进行	208
§ 4. 转子检验	217

第四篇 特种工艺

第十二章 电火花加工	227
§ 1. 电火花加工基本原理	227
§ 2. 电火花加工装置	229
§ 3. 电火花加工应用	236
§ 4. 线电极电火花加工	242
第十三章 电解加工	246
§ 1. 电解加工的基本原理	246
§ 2. 电解加工设备	251
§ 3. 电解加工工艺	255

毛主席语录

就人类认识运动的秩序说来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。

第一篇 机械加工

第一章 车削加工

§ 1. 金属切削加工基本知识

金属切削加工是机械制造中应用最广的加工方法，也是飞机、发动机及附件生产中必不可少的重要生产手段。因此了解切削加工的基本规律，是学习飞机、发动机及附件制造工艺的基础，是使设计员能设计出工艺性良好的零部件的基本知识，这对提高产品质量，提高生产率及改善装配工艺性具有重要意义。

金属切削加工就是用刀具从毛坯上依次切去多余的金属，使获得的零件具有合乎设计要求的几何形状、尺寸及表面光洁度的切削过程。切削过程是刀具、工件对立统一的过程，刀具在一定条件下能从工件上切除金属，工件材料分子间的内聚力则反对这种切除。切除和反切除便成为贯穿切削过程始终的基本矛盾。“**一个大的事物，在其发展过程中，包含着许多的矛盾。**”切削过程同样也暴露了许多矛盾，如切削的省力与费力，切削温度的高和低，切下切屑的多与少，加工表面的光洁与粗糙等等。分析这些矛盾的发展和变化，并研究它在何种条件下向着有利的方面转化，是我们学习本节所必须遵循的基本方法。

“一切真知都是从直接经验发展的”，“**在某种意义上来说，最聪明、最有才能的，是最有实践经验的战士**”，工人师傅们在自己长期的生产实践中，积累了丰富的切削加工经验，创造了许多先进刀具和加工方法。我们应该把这些十分丰富的合乎实际的材料概括起来，得出正确的概念和理论，并去指导客观的生产实践。

金属切削加工种类很多，一般可分为车、铣、刨、磨、钻、等，如图 1—1 所示。然而“就人类认识运动的秩序说来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。”在金属切削加工中车削加工应用的最普遍，发展也较完善。因此，这里我们从车削加工入手来学习一些基础知识，这对于了解其它切削加工是具有普遍指导意义的。

一、切削运动及切削用量

切削加工的方法尽管种类很多，但是切削时都有个共同点，就是刀具对工件有一定的切削运动。

切削运动通常有两种，即主运动和送进运动。

主运动：是将切屑切下来所需要的最基本的运动，也是切削时消耗动力最多，决定着切削速度大小的运动。车削时是指工件的旋转运动，图 1—1 中各类加工方法，标注切削速度 V 的为主运动。

送进运动：也叫走刀运动，由于这个运动使切削过程继续进行，使工件的整个加工表面逐步加工出来。在车削时车刀移动是送进运动，图 1—1 中标注 S 的都是送进运动。

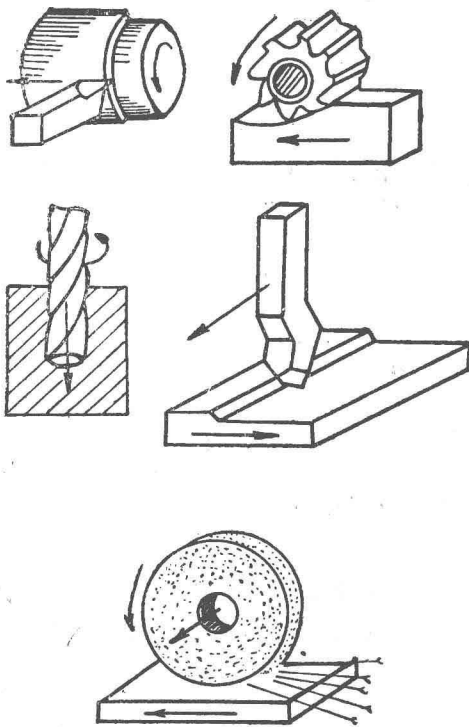


图 1—1 各种加工方法

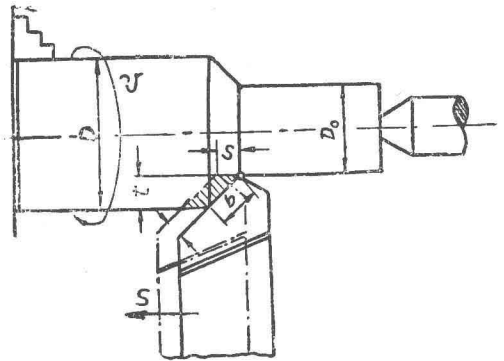


图 1—2 切削用量

切削用量：切削运动的大小通常用切削速度、送进量（即走刀量）和切削深度来表示。切削用量即是指这三个要素，如图 1—2 所示。

切削速度 V ：是指单位时间内，工件和刀具沿主运动方向相对移动的距离。对车削来说即是工件旋转运动的线速度。

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ (米/分)}$$

式中： D ——工件外径（毫米）

n ——工件转数（转/分）

送进量 S （走刀量）：是指单位时间内，刀具和工件之间沿送进运动方向相对移动的距离。在车削时工件每转一转，车刀沿送进方向移动的距离来计算，单位为毫米/转。

切削深度 t 是指刀具切入零件表面的垂直距离。

切削用量可以说明切削加工的生产率。例如

$$V \times S \times t$$

表示单位时间内被切下金属的体积。所以提高切削用量是提高生产率的一个重要途径。

二、切削剖面

如图 1—2 所示，工件转一转车刀移至虚线位置，有剖面线的一部分表示将要被车刀切去的那一层金属。这一剖面叫切削剖面，它表示了被切下来的切屑断面的大小。

切削宽度 b ：在车刀主刀刃方向量得的切削剖面的距离叫切削宽度。亦即主刀刃参加切削的长度。由图上三角关系可知：

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}$$

切削厚度 a ：垂直于主刀刃方向量得的切削剖面的距离叫切削厚度。图中三角关系

$$a = S \times \sin \varphi$$

φ ——主刀刃与送进方向间的夹角，叫主偏角。

切削剖面的面积为切削宽度与切削厚度的乘积。

$$F = a \times b = \frac{t}{\sin \varphi} \times S \times \sin \varphi = t \times S$$

由上式可知切削剖面的面积又可为送进量与吃刀深度的乘积。图 1—3 所示为切削剖面的形状和尺寸。

同一大小的切削剖面，由于刀刃形状不同，主偏角不同，切削剖面的形状和尺寸也就不同。图 b 为 $S \cdot t$ 相同情况下的三种切削剖面形状。

切削剖面的大小，形状，直接影响着切削力和切削热的大小，也影响工件加工精度和刀具寿命。因此切削剖面也是一个重要的切削要素。

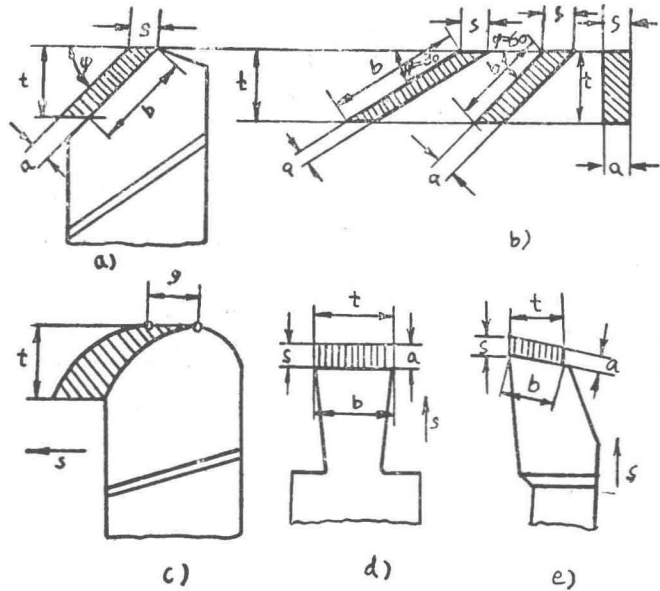


图 1—3 切削剖面的形状

三、车刀的材料及几何角度

用刀具加工工件时，刀具能否胜任切削工作，首先决定于刀具切削部分的材料是否具备应有的性能，其次还决定于刀具的合理角度。怎样看待切削过程中工件和刀具的矛盾呢？

毛主席教导我们：“矛盾着的两方面中，必有一方面是主要的，他方面是次要的，事物的性质，主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所视定的”。对于加工一定材料的工件来

说，刀具的切削性能是切削过程中矛盾的主要方面。刀具若有良好的切削性能就能有效地进行切削。相反，当工件材料的加工性很差（如耐热合金），而刀具材料热处理或刀具角度刃磨不够好时，切削过程就出现困难。下面我们从如何改善刀具的切削性能出发学习一些刀具材料及合理的几何角度方面的有关知识。

1. 刀具材料

在切削加工时，刀具的切削部分受到很高的温度，压力和摩擦作用，因此必须具备下列基本性能：

- 1) 硬度高，刀具材料必须高于工件材料的硬度，通常硬度应在 Rc 60 以上。
- 2) 耐磨性好。刀具在切削过程中必须耐磨。
- 3) 热硬性好。热硬性就是刀具材料在高温下仍能保持其高的硬度。

此外，刀具材料还要求有一定的强度和韧性，以承受切削时的振动和冲击。应具有良好的导热性。在制造复杂形状的刀具时，还要求热处理变形小并容易刃磨等等。

常用的刀具材料有：

1) 碳素工具钢及合金工具钢：

常用的碳素工具钢有 T 10A 和 T 12A 等牌号，其含碳量为 0.95~1.25% 的优质钢，其淬硬性好，硬度可达 HRc 60 以上，磨制性能好，可使刀具磨得很光洁锋利，且价低廉。但热硬性差，到 200~250℃ 时就变软，淬火变形亦大，所以仅适用于做形状简单的低速工具，如锉刀、手用铰刀、手用丝锥等。

在碳素工具钢中加入 Cr、W、Mn、V 等合金元素即是合金工具钢。可以改善热处理性能，提高钢的热硬性（到 350℃）常用的合金工具钢如 9CrSi，CrWMn 等，优点是热处理变形小，可制作形状复杂的刀具如丝锥、板牙、拉刀等。

2) 高速钢

在合金工具钢中加入数量更多的钨、铬、钒等合金元素及适量的钼元素。钨钼本身熔点很高（W—3380℃，Mo—2622℃）可提高钢的耐热性（约 500~600℃），所以能承受的切削速度比碳素工具钢高 2—3 倍。

最常用的是 $W_{18}Cr_4V$ 和 $W_9Cr_4V_2$ 两种，其中 $W_9Cr_4V_2$ 含钨较少，是 $W_{18}Cr_4V$ 的代用品，它们的耐热性完全相同，但在低速下 $W_9Cr_4V_2$ 比 $W_{18}Cr_4V$ 差。

近来出现了一些新的高速钢，它是在高速钢中再增加 Co、V、Mo 等合金元素，可以提高其硬度，耐磨性及热硬性。如高钒高速钢有 $W_{12}Cr_4V_4Mo$ ， $W_8Mo_5Cr_4V_3$ 。另外有 $W_9Cr_{12}V_2Mo$ ， W_9Cr_2Mo 等，其切削性能超过常用的高速钢。

3) 硬质合金

由于切削加工水平不断提高，比碳素工具钢优越得多的高速钢仍然不能满足高生产率的需要，人们在生产斗争中“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”，因此就又研制出了性质更为优异的刀具材料——硬质合金。

硬质合金是用粉末冶金法压制烧结而成。硬度很高 HRA 达 86~91。能耐 1000℃ 左右高温，耐热性好。切钢料时切削速度可达 150—250 米/分以上。但抗弯强度差，性脆，不耐冲击。

硬质合金分为：

钨钴类(YG)：是由碳化钨(WC)粉末和粘结剂钴(Co)组成，常用的牌号有 YG₈，YG₆。

等，数目字代表含钴量的百分数。含钴量越多，韧性愈大，但热硬性随之下降。YG₈表示含WC：92%，含Co：8%。

钨钛钴类(YT)：除以上元素外，还含有碳化钛(TiC)。常用牌号有YT₅，YT₁₅，YT₃₀等。数目字表示含TiC的百分数。加入TiC可提高热硬性及与钢料的粘接温度(TiC与钢的熔接温度为1125℃)减少摩擦。但脆性上升。YT₁₅表示含TiC 15%，Co 6%，WC 79%。

钨钴类适用于加工脆性材料，钨钛钴类适用于加工韧性材料。

钨钛钽(Ta)钴类是具有更高的热硬性和耐磨性的新材料，目前还未广泛使用。

4) 陶瓷材料是以氧化物为基体的非金属材料。以氧化铝(Al₂O₃)为基体的陶瓷材料最有发展前途。其优点为原料充足，价格低廉，硬度高(HRA92÷93)热硬性达1200℃耐磨性及与钢的粘接温度比硬质合金高。但抗弯强度差，性很脆，怕冲击和振动，刃磨也困难，所以应用还有限制。

由于硬质合金价格较贵，陶瓷材料强度太差，且烧结成形和刃磨困难，所以多作成刀片镶焊(或机械夹固)在刀头上，而刀体可用优质碳素钢(45#钢等)制成。有些刀具(如钻头、扩孔钻等)为节省工具钢和高速钢，也常用它作切削部分，而刀杆用优质碳素钢，使材料得其合理使用。

2. 刀具的几何角度

劳动人民在长期的生产斗争和科学实验中，对自己手中的犁铧斧创有着深刻的认识，找到了它们合理的切削角度，并产生了刀具几何角度的概念。这是一个很重要的概念，它抓住了切削过程的本质，切削时工件和刀具的内部联系。伟大领袖毛主席教导我们“**只有在亲身参加变革现实的实践的斗争中，才能暴露那种或那些事物的本质而理解他们。**”工具是我们工人创，刀具是我们工人磨，刀具切削角度的概念是我们劳动人民千百年来从长期的生产实践中感性认识的提炼。所以我们应抓住“**刀具切削角度**”这个核心问题，掌握它的规律性，从而使我们进一步认识各种刀具的本质。

下面以普通车刀为例介绍车刀的构造及几何角度。

车刀分为刀头及刀体两部分，刀头要担任切削而刀体要承受切削力。刀头的部分构造和角度对切削过程有着决定的影响。

刀头又由下列各部分组成：前面，后面，主刀刃，付刀刃，刀尖等如图1—4表示。

前面：切屑沿着它流出的那个表面。

主后面：与工件加工表面相对的表面。

付后面：与工件已加工表面相对的表面。

主刀刃：前面与主后面的交线，它担负主要的切削任务。

付刀刃：前面与付后面的交线。

刀尖：主刀刃和付刀刃的相交处。

为了正确地规定和测量在切削运动时刀具的切削角度这里规定了几个实际中并不存在的假想平面。

切削平面：通过主刀刃并与主刀刃上任一点的切削速度方向相一致的平面。

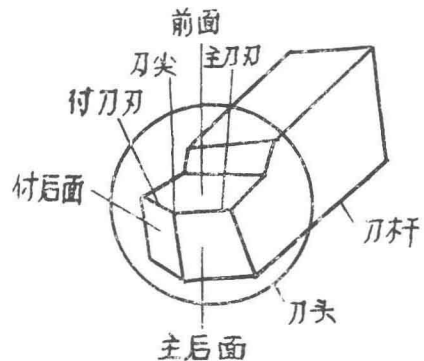


图 1—4 车刀的组成部分

基面：通过主刀刃上任一点，并与该点切削速度方向相垂直的平面。

主截面：是与主刀刃在基面上的投影相垂直的平面，图 1—5 表示。

根据这三个平面，我们就可测量刀具的角度。

在主截面内测量的角度有：

前角 γ ：车刀前面与基面之间的夹角。

后角 α ：车刀后面与切削平面之间的夹角。图 1—6 (a) NN 剖面表示。

在基面内测量的角度有：

主偏角 φ ：主刀刃在基面上的投影与进给方向之间的夹角。

付偏角 φ_1 ：付刀刃在基面上的投影与逆于进给方向之间的夹角。

在切削平面内测量的角度有：

刃倾角 λ ：主刀刃与基面之间的夹角，它影响刀尖的强度和切屑流动的方向。当主刀刃与基面平行时 $\lambda = 0^\circ$ 。当主刀刃与基面不平行时，若刀尖为刀刃的最低点则为正值，反之为负值。图 1—6 (b) 所示。

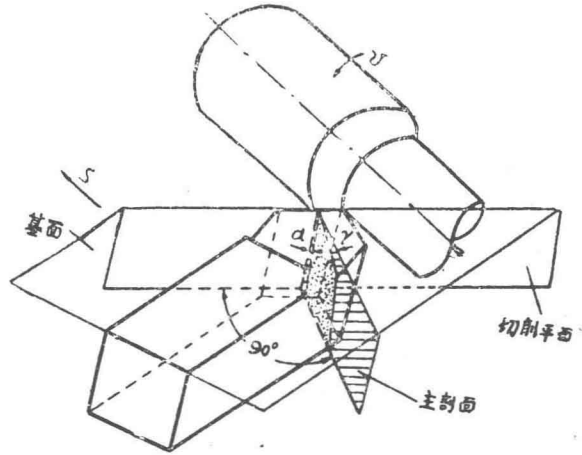


图 1—5 坐标平面

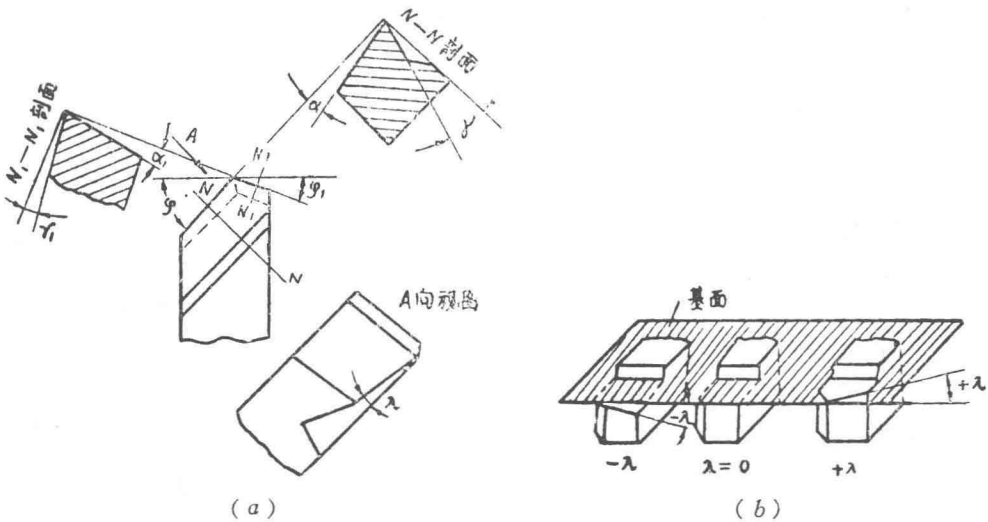


图 1—6 车刀几何角度

以上五个角度中，前角、后角是最重要的切削角度。工作时，如果车刀安装得不好，可能出现刀尖低于或高于工件轴线，或者刀杆不垂直于工件轴线的现象。此时车刀实际工作的角度就与车刀刃磨时测量出来的角度不同。此外，由于有进给运动，也会使车刀的实际工作角度发生变化。

3. 车刀几何角度的选择：

1) 后角 α ：后角的主要作用是减小车刀后面和工件表面间的摩擦。精加工时切削厚度

α 很小，如果后角很小，这时刀刃的圆弧半径 ρ 必然大，如图 1—7 所示，不易切入金属，使刀具在工件表面上挤压过去，此将导致工件变坏和刀具产生严重的磨损。如果后角加大， ρ 就减小，以适应精切削的要求。所以切削厚度 a 越小，后角 α 应愈大。但后角太大，又会使刀尖强度削弱，加工中会崩刃或加剧磨损，容易引起切削振动。故后角也不应太大。一般车刀的后角 $\alpha = 8 \sim 12^\circ$ 。拉刀的后角较小， $\alpha = 2 \sim 3.5^\circ$ 。这是为了重磨前面时，刀具尺寸变化不太多以延长刀具使用寿命的缘故。立铣刀的后角较大是由于容屑槽要有足够尺寸的缘故。

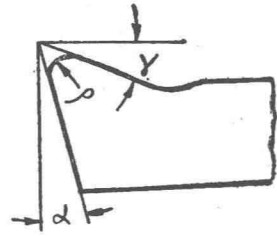


图 1—7 后角

2) 前面的形状及前角:

根据用途不同，前面有图 1—8 所示四种，图 a 形状简单易制造，图 b 是带有棱面的，棱面的目的是加强刀刃，棱面的前角较小，甚至采用负值。图 c 的前面是曲面，它是用来加工韧性大的金属，使切屑能卷曲流出。图 d 是双面型前面，在硬质合金车刀上使用，便于刃磨。

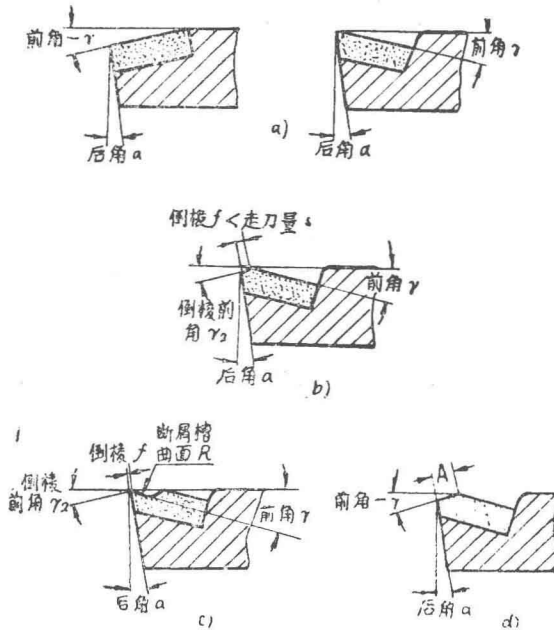


图 1—8 前面形状

前角是很重要的角度。前角的作用是便于刀具切入金属，使切屑易流出减少变形，降低切削力及切削温度。但前角太大同样减弱刀尖强度，加剧刀刃磨损。

经验证明前角的合理数值主要是按加工材料来定，脆性材料 γ 可以小些，塑性材料大些，材料塑性愈高， γ 应选得愈大些，强度大 γ 要选小些，硬质合金刀具抗弯强度小， γ 应选小或用负值。

3) 主偏角 φ 和付偏角 φ_1

当 S 、 t 一定时，主偏角越小，则切削宽度 b 加大，切削厚度 a 减小。这样，可使刀具散热好，耐用度上升。但增加了 P_y 方向的切削力，这在加工细长轴时，使工件弯曲，引起振动而降低加工精度。所以合理的 φ 角应按机床——刀具——工件系统刚度允许的情况来选择，通常主偏角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 。主、付偏角的大小，对被加工工件的表面光洁度影响很大。由于有 φ 及 φ_1 存在，所得切削剖面的实际形状和理论形状不同， φ 及 φ_1 越大时，在工件的已加工表面上残留一些未被切的金属，如图 1—9 所示有残留面积。残留面积越大，被加工表面的光洁度越低。影响表面光洁度的因素很多，例如走刀量 S 越大，表面越不光洁。从刀具本身来说，减少 φ 和 φ_1 以及增大刀尖圆弧半径可提高表面光洁度。

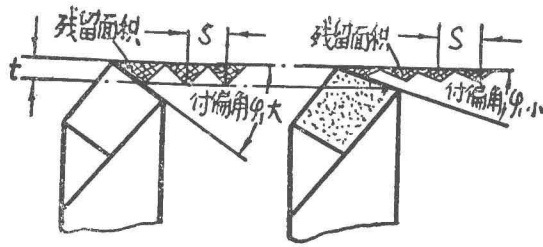


图 1—9 φ 、 φ_1 与残留面积的关系

4) 刃倾角 λ ；刃倾角控制切屑流动的方向，并可增强刀刃，由图 1—10 可知正刃倾角使切屑流向已加工表面。影响表面光洁度。所以精加工时应取 $\lambda = 0$ 或 $-\lambda$ ，只有在粗加工或切断续表面时为了增加刀刃强度应取 $+\lambda$ 。

对于硬质合金刀具来说，由于刀片本身脆性较大，故 λ 角应比高速钢刀具选大些。

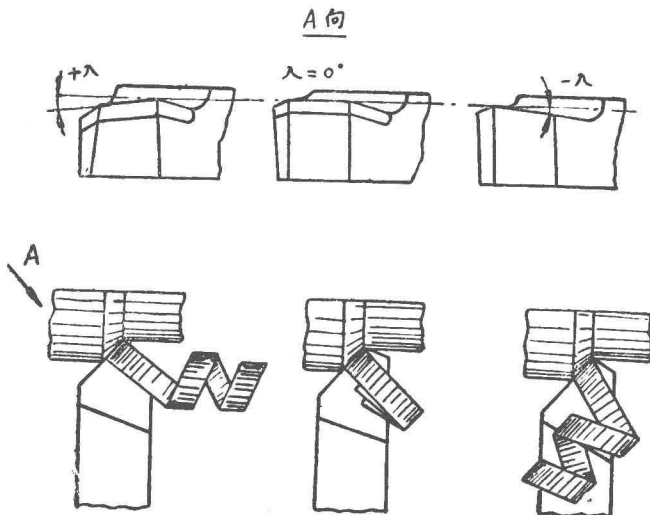


图 1—10 刃倾角对切屑流出方向的影响

选择刀具合理几何角度的原则是，在保证加工质量的前提下，减小切削时的变形，减小切削力，减小摩擦，降低切削温度，以使刀具磨损小，耐用度高，生产率高。

四、金属切削过程的物理现象

塑性金属的切削过程本质上是一种挤压过程。金属材料受到刀具的作用以后开始产生弹性变形，随着刀具切入被加工材料的深入程度，金属内部的应力，应变逐渐加大。当应力达到材料的流动极限时，开始产生塑性变形，金属沿滑移面按一定方向产生滑移。刀具再继续前进，金属内部的应力及应变不断增加，当应力达到材料断裂强度时，金属便沿着一定方向破裂，亦称为挤裂。最后被挤裂的金属脱离工件表面，沿着刀具前面流出而形成切屑。所以切削过程是被切层金属经弹性变形，塑性滑移和挤裂破坏而被切离成切屑的过程。这是塑性材料切屑的形成过程。切削铸铁等脆性材料时，由于铸铁本身塑性很低，所以滑移和挤裂过程很不明显，在弹性变形以后就很快切离基体而形成了崩碎切屑。

由于工件材料的性质和具体加工条件不同，切屑形成过程不同，切屑形状也有所不同。

1. 切屑类型：

1) 带状屑切：图 1—11, *b* 切屑绵延很长，从刀具前面滑出的一面很光滑，而背面呈毛茸状，但并未产生明显的裂痕，一般用比较高的切削速度加工塑性好的钢材时，皆获得这类切屑。

2) 挤裂切屑：这种切屑有一面有明显的裂痕，并成一节一节的形状，用较低切削速度和较大走刀量加工中等硬度的钢料时可得到这类切屑。

3) 崩碎切屑：加工铸铁等脆性材料时，切屑为不规则碎片。



图 1—11 几类切屑

崩碎切屑的切削力、切削热较小，但都集中在刀刃上，刀尖受力最大容易崩刀，所以应用较小的前角。带状切屑和挤裂切屑那一种切削变形小，要视具体情况而定。判断变形大小可采用下述方法。由于切屑变形后，切下切屑的长度 L 总是小于切削长度 L_0 ，如图 1—12 所示，而切屑厚度 a 大于被切层的厚度 a_0 ，切屑的宽度则变化很小，材料变形前后的体积不变。因此可以用长度或厚度的尺寸变化来表示变形大小。

$$\text{令 } K = \frac{L_0}{L} = \frac{a}{a_0} > 1$$

这个尺寸变化可以表示切屑的收缩现象， K 称为切屑收缩系数。 K 越大，表示变形程度越大，而变形越大则切削力、切削热越大，切削动力消耗大对加工精度和表面质量的影响也愈大。

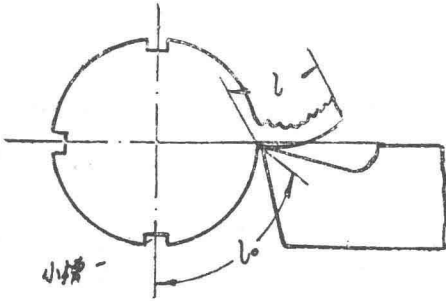


图 1-12 切屑收缩

切屑的收缩在切削过程中并不相同，它和加工金属的塑性、前角大小、金属切削层的厚度、切削速度及材料的种类等有关。

2. 已加工表面的冷硬现象：

在切削加工中，已加工表面层的硬度与原来工件材料的硬度相比有着显著地提高。这种现象称为冷硬现象。

冷硬现象产生的主要原因是金属在切削过程中发生塑性变形。当金属受刀具作用时，因刀刃刃口有圆弧，有部分金属不是被切下来，而是被刃口挤压到已加工表面上，如图 1-13 所示，同时刀具的后面的摩擦又增加了已加工表面的变形。金属在塑性变形后，由于晶粒的破碎，内摩擦的增加，使金属的物理及机械性能与其原始性质相比有着显著的差别，其硬度提高了，而材料变脆，韧性降低。

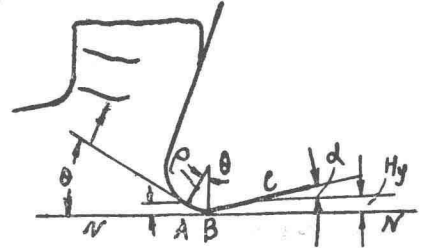


图 1-13 冷硬层的产生

冷硬的表面一方面容易产生裂纹，另一方面造成刀具在下一一次切削时将碰到硬度提高的材料，而促使刀具磨损，所以对切削加工来说，一般总是希望避免这种表面硬化现象。

冷硬是被加工金属塑性变形的结果。变形愈大，冷硬层就愈深。所以前角，切削速度，切削深度，刀刃圆弧半径等都对冷硬有较大的影响。

工件材料塑性愈大则冷硬层也愈深，而脆性材料、冷硬层则很小。

3. 刀瘤：

在切削塑性材料时，我们往往会发现刀尖上牢固地粘附着一小块硬金属，这种现象称为刀瘤。

刀瘤的产生是由于切屑和刀具前面强烈摩擦而引起的。当切屑沿刀具前面排出时，在高温和高压的作用下，和前面接触的切屑底层的流动受到很大的摩擦阻力，使这一层金属受到很大塑性变形而且流动速度降低到近于零，这一层金属称为滞流层。当滞流层和刀具前面的摩擦力超过切屑本身分子间的内聚力时，就在刀具前面形成了刀瘤。刀瘤的存在能代替刀尖进行切削，保护了刀尖（图 1-14 所示），提高了刀具耐用度。刀瘤的存在实际上加大了刀具的前角，有利于切削变形和降低切削力，这些是有利的一面，尤其是对粗加工来说。但是由于刀瘤不断形成和破坏，一方面使切削深度和切削力在变化，另一方面破坏的刀瘤被工件带走后镶附在已加工表面上，降低了表面的精度和光洁度。所以精加工时要极力避免产生刀瘤。

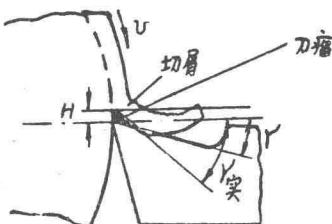


图 1-14 刀瘤

试验证明：刀瘤的产生与切削速度有很大关系。速度低时无刀瘤存在，速度很高时也无

刀瘤存在(如 V 在2—5米/分以下或在80—100米/分以上)。刀具前角较小时刀瘤比较大。所以在精加工时为了提高表面质量,常常采用较大的前角,或者用较低或较高的切削速度进行加工。

4. 切削力和切削热

切削力和切削热是切削过程中产生的必然现象,它们的大小直接影响着刀具的耐用度,影响加工精度、表面质量和机床的合理使用。

在切削加工中切削力的来源有三:

i) 使金属产生变形(弹、塑性变形)的力。

ii) 克服刀具后面和工件间的摩擦力。

iii) 克服刀具前面和切屑间的摩擦力。

这些力组成一个总的切削力 P ,在实际加工中为了分析问题的需要及方便,又可将合力分成三个分力, P_x 、 P_y 、 P_z 。图1—15。

P_z 主切削力,这个分力最大,它垂直于车刀,又叫垂直切削力。 P_z 力还产生围绕工件轴线旋转的扭矩, $M_{扭} = P_z \cdot \frac{D}{2}$ (公斤·毫米)。

P_z 与主运动方向一致,消耗功率最多。

P_y 径向切削力,在工件半径方向。 P_y 大,易顶弯工件,影响加工精度。 P_y 与主偏角 φ 有很大关系,增大 φ 角,可以减少 P_y ,如图1—16所示,在加工细长工件时采用跟刀架或中心架来提高工件的刚度以抵消 P_y 的作用,减少加工误差。

P_x 轴向切削力与送进方向一致。作用于机床的送进机构上,常用来核算机床送进机构的强度。

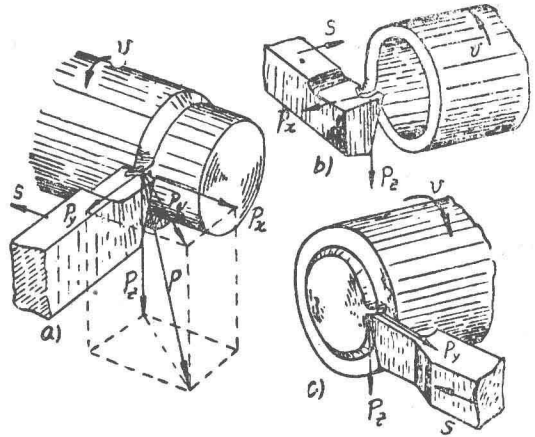


图 1—15 作用在车刀上的力

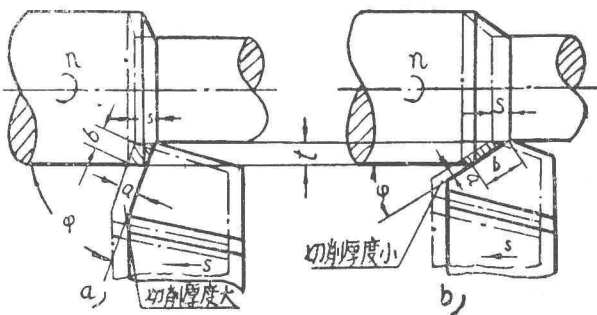


图 1—16 φ 与 P_y 的关系

通常 P_x 、 P_y 较 P_z 为小,其关系大致如下:

$$P_x \approx \frac{1}{4} P_z; \quad P_y \approx \frac{1}{3} P_z。$$

$$\text{合力 } P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \approx \sqrt{\left(\frac{1}{4} P_z\right)^2 + \left(\frac{1}{3} P_z\right)^2 + P_z^2} \approx 1.08 P_z \approx P_z。$$

所以通常所说的切削力,差不多是指主切削力 P_z 而言。

在切削过程中因为大部分切削功都转变成热能，所以产生大量的热，这些热称为切削热。切削热产生以后，由切屑、工件、刀具及周围介质传出。由实验结果知切削热主要是由切屑带走的，图 1—17 所示，是用高速钢车刀、切削钢料时切削热传出的情况。

传入刀具的热虽然不多，但由于刀具切削部分体积很小，因此刀具在切削过程中温度很高，刀具温度升高以后容易变钝。

传入工件的热，一方面使工件温度上升，造成由于温度升高而变形所产生的形状尺寸误差。另一方面也降低了工件表面质量。

切削力和切削热归根结蒂是由金属的变形和摩擦所引起和决定的。但是在怎样的条件下切削力和切削热朝着降低的方面转化呢？毛主席教导我们：“**矛盾着的双方，依据一定的条件，各向着其相反的方面转化**”。下面我们着重地研究一下转化条件。

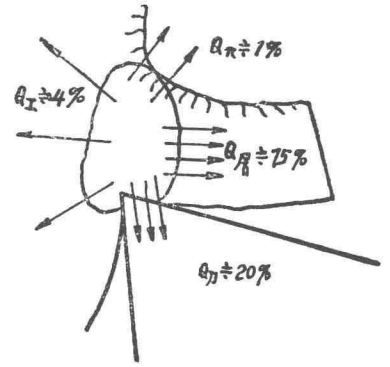


图 1—17 切削热的传递情况

1) 工件材料的热处理

我们知道加工强度大、韧性大的材料，切削力很大，如果再加上导热性差，如耐热合金加工时切削热就更大。当然被加工材料是不能随意变更的，但是人们可以能动地想出各种办法改善材料的加工性。例如钢经过正火能降低切削力，加工淬火和调质钢时，事先回火对切削很有利。加工韧性大的金属及耐热合金时，事先进行淬火就可能便于切削。

2) 刀具几何角度的影响

前角 γ 增大，刀具前面的光洁度高，刀具易切入金属，切屑容易流出，减少了变形和摩擦，从而使切削力和切削温度下降。所以适当地增大前角对切削过程有利。

后角 α 增大，可以减少摩擦，以降低切削力和切削热。

主偏角 φ 的大小，改变了切削厚度 a 及切削宽度 b 的比值。 a 、 b 的变化直接影响变形和摩擦。同时也改变了 P_y 、 P_z 的比值。

3) 切削用量的影响

切削深度 t 和送进量 S ，决定了切削断面，对切削力有决定性意义。 t 增加，切屑和车刀前面接触面积加大，变形、摩擦随之上升。所以切削力随 t 成比例的增加（即 t 增加一倍时，切削力增加一倍），但当 S 增加一倍时，切屑与刀具前面及工件与刀具后面的接触面积并没有什么改变，因此摩擦力并不增加一倍。而且走刀量增加时，切屑的平均变形小些，所以 S 对切削力的影响不如 t 大。

当 t 增大时，切削功及切削热成正比例的增加，但是由于刀刃参加工作的长度也成倍的增加，散热情况较好，所以切削温度上升不显著。相反，当 S 增加时，由于刀刃参加工作的长度不变，刀具单位面积上集聚的热量增多。所以对于切削温度来说， S 影响大于 t 。

切削速度虽然对切削力的影响不大（高速切削时有降低切削力的倾向），但切削速度增加，切削热也随之增加。

5. 冷却润滑液对切削过程的影响

生产经验证明，正确地使用冷却润滑液可以使切削过程向着有利的方面转化。它可以减少摩擦和金属变形，降低切削力和切削温度，避免刀瘤产生，对提高零件加工表面质量和刀

具耐用度有很大好处。

粗加工时切削用量大，切削热多主要矛盾集中在降低切削温度和提高刀具耐用度上，此时宜选用以冷却为主的，粘度小，热容量大，导热性好的冷却液。如苏打水，肥皂水等。

精加工时主要矛盾集中在提高表面质量上，此时宜选用以润滑为主的冷却润滑液，如植物油、矿物油、硫化油等。

冷却润滑液中加入少量化学活性剂，可以显著地降低材料塑性和切削力。这些活性剂的分子随着冷却液侵入材料的表面和隙缝中，可以减少表面摩擦，促使裂缝扩大，使材料容易变形。常见的硫化乳化液，（内有苛性钠溶液，有机酸和矿物油，硫磺等）目前在切削加工中采用二硫化钼。其润滑效果比较显著。

6. 刀具的磨损

切削过程中刀具一定要磨损，刀具磨损到一定程度后就失去了切削能力，如继续使用，将使切削力很快加大，加工表面光洁度显著降低引起切削振动等不良倾向，直接影响到生产率和加工质量。

刀具磨损的原因是：

1) 刀具表面在很小的一块面积上受到很大的压力，机械摩擦很大，产生较大的机械磨损。

2) 切削时产生了大量的热，刀头被烧到 500°C 甚至 1000°C 在这样的高温下，刀头上一小部分金属组织就变了，结果硬度下降，因此刀刃就会很快磨损掉。工具钢刀具中除去切削速度低的铰刀等外，大都是因为这个缘故而磨损的。

3) 切削热使得硬质合金刀具表面和加工材料粘在一起，然后把硬质合金带走，造成刀具的磨损。

刀具磨损和一般机构的磨损类似，其磨损过程大致可分为三个阶段如图 1—18 所示。

初磨损阶段：在这一阶段磨损很快，因为摩擦表面的突峰迅速磨平。在这阶段主要是机械磨损。

正常磨损阶段：当表面突峰磨平后，磨损情况就稳定下来，这时磨损的原因，主要是热效应的影响。

急剧磨损阶段：当磨损达到一定程度后，由于磨损条件发生较大变化，所以磨损又很快增加。

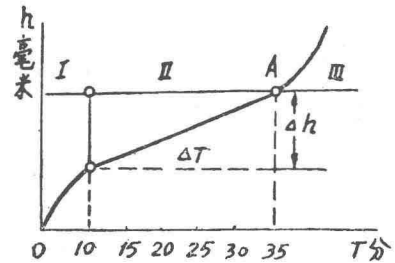


图 1—18 磨损过程

§ 2. 车 床

车床在航空工厂及其他机械制造厂应用极广。约占机床总数的 40% 以上。车床种类很多，根据生产特点，应用范围不同，一般有如下几种：

普通车床：又称万能螺丝车床，它的加工范围最广。它不但可以加工迴转面，也可加工螺旋面，在车床中占的比重最大，因此是本节介绍的重点。

转塔车床：又称六角车床，适用于成批生产，加工中等复杂程度的中小零件。在转塔车床上一般都采用定距切削，有的机床还有预选变速机构，故生产率要比普通车床高。