

高等专科学校教学用书

金属切削加工工艺学

徐嘉元 主编

南京机械专科学校

编写说明

《金属切削加工工艺学》是根据我校两段式教学计划和教学大纲而编写的教材。适合机械加工工艺类各专业(包括热加工专业)在第一阶段教学中使用,授课时数约65到75学时。所谓两段式教学计划即将整个教学进程分两个阶段进行:前两年为第一阶段,授予范围较宽的为机械加工工艺性各专业所必需的基础理论和基础知识,并进行基本技能的训练;最后一年为第二阶段,根据专业方向给予专业技术理论的提高和深化,同时授以与本专业现代先进技术有关的新知识,使学生成为“一专多能”的技术人材。基于上述目的,本教材编写过程中一方面考虑到机械类各专业的共同要求,即通过本课程的学习及课程设计的训练,使学生能编制简单常见零件的机械加工工艺规程和设计简单的机床夹具,能处理常见的简单的与切削加工有关的工艺技术问题;另一方面也考虑到与机械制造工艺及装备专业后期专业课“机械制造工艺学”的主要内容相衔接,避免不必要的重复和赘述。因此在有关章节及书后的习题份量上都具有较宽的范围,使用时可根据不同的内容加以选用。

全书共分五章,内容包括:原理基础知识;金属切削机床和各种表面加工方法概述;机械加工工艺流程编制;零件加工工艺;机床夹具设计原理等;并有习题和课程设计指导书与之相配合(另附)。

本书适用于高等专科学校,职工大学,职业大学,中等专业学校机械制造工艺类各专业(含热加工专业)前期专业课教学,也可作为非机类相近专业的“金属工艺学”教材和各种中、高级工艺短训班的教材,亦可供工程技术人员参考。

本书由丁家铺同志编写,其余各章及习题部分由徐嘉元同志补充,全书由丁家铺同志审稿。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请编者批评指正。

编者

1988年1月

目 录

第一章 金属切削原理基础知识

§ 1	切削运动和刀具几何角度	(1)
§ 2	金属切削过程	(7)
§ 3	切削力	(10)
§ 4	切削热与切削温度	(14)
§ 5	刀具材料	(15)
§ 6	刀具磨损和刀具耐用度	(22)
§ 7	工件材料的切削加工性	(26)
§ 8	已加工表面粗糙度	(27)
§ 9	车刀几何角度的选择	(29)
§ 10	车削用量选择	(33)

第二章 金属切削机床和表面加工方法

§ 1	概述	(39)
§ 2	通用机床及其加工范围	(41)
§ 3	磨削加工	(53)
§ 4	光整加工	(56)
§ 5	齿形加工方法	(59)
§ 6	高效机床及自动线	(67)
§ 7	零件结构的机械加工工艺性	(73)

第三章 机械加工工艺规程的编制

§ 1	概述	(79)
§ 2	工件的安装与定位	(84)
§ 3	定位基准的选择	(88)
§ 4	工艺路线的拟定	(90)
§ 5	加工余量及工序尺寸的制定	(107)
§ 6	工艺尺寸链	(110)
§ 7	机械加工精度和生产率	(115)
§ 8	工艺文件	(118)

第四章 典型零件加工

§ 1	活塞加工	(121)
-----	------	---------

§ 2	轴类零件的加工.....	(128)
§ 3	盘套类零件的加工.....	(134)
§ 4	箱体零件的加工.....	(135)
§ 5	叉杆零件的加工.....	(148)

第五章 机床夹具设计原理

§ 1	机床夹具概述.....	(153)
§ 2	工件在夹具中的定位.....	(156)
§ 3	定位误差的分析和计算.....	(165)
§ 4	工件的夹紧.....	(169)
§ 5	夹具的其它装置.....	(177)
§ 6	夹具设计的方法和步骤.....	(182)

第一章 金属切削原理基础知识

第一节 切削运动和刀具几何角度

一、切削时的运动和产生的表面

1、切削时的运动 金属切削加工是用金属切削刀具从工件毛坯上切去多余金属层，从而获得合乎设计要求的工件的加工方法。在进行切削加工时，刀具与被加工工件之间必须存在一定的相对运动，它是由金属切削机床来完成的。

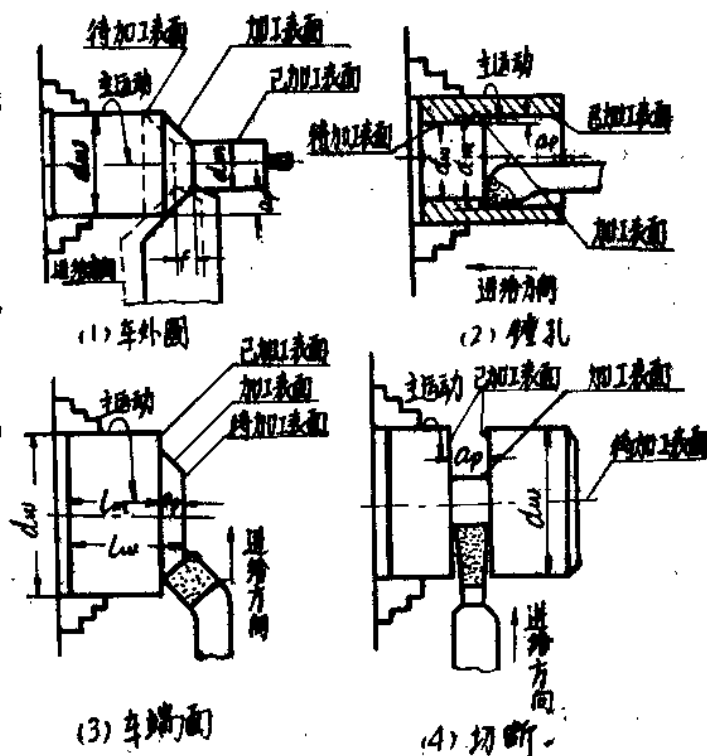


图1-1 车削加工

由图1-1可知，车削时，为了切去多余金属，必须具备工件旋转运动和刀具沿着一定方向的移动。通常分别称它们为主运动和进给运动

主运动——切去金属形成加工表面所必需的运动。在切削运动中，它是速度最高、消耗功率最多的运动。主运动的线速度称为切削速度，用字母 V 来表示，单位为 m/min 。它可按下式进行计算：

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \text{ m/min}$$

式中 d —— 工件车削加工处的最大直径，由图1—1可知，车削外圆时，取待加工表面的直径，镗孔时，取已加工表面的直径，单位为mm。

n —— 工件每分钟的转数，单位为r/min。

进给运动——使新的金属层不断地投入切削的运动。车削时用进给量 f 表示其大小。进给量是工件每转一转时，车刀沿进给运动方向相对于工件移动的距离，单位为mm/r。显然，进给速度 v_f 可按式计算，

$$v_f = f \cdot n \text{ mm/min}$$

每次走刀的切入深度用切削深度 a_p 来表示，它是工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离，单位为mm。车削外圆时的切削深度为，

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \text{ mm}$$

式中 d_w —— 工件待加工表面的直径，单位为mm；

d_m —— 工件已加工表面的直径，单位为mm；

切断或切槽时的切削深度 a_p 等于槽宽。

在生产实践中，通常把切削深度、进给量和切削速度称为切削用量三要素。在加工工件时，必须预先选择好切削用量。

2、切削时工件上产生的几个表面 在切削加工过程中，工件上的多余金属不断地被车刀切去变为切屑，加工出所需要的新表面。在切削过程中，工件上会出现下列三个不断变化着的表面：

待加工表面——工件上即将切去切屑的表面。

已加工表面——工件上已经切去切屑的表面。

加工表面——工件上切削刀正在切削着的表面。

二、刀具切削部分的几何角度

1、车刀的组成 金属切削刀具的种类很多，形状和结构较复杂，且又不相同。但各种复杂刀具或多齿刀具，就其中一个齿来说，它的几何形状都相当于一把车刀的刀头。本节以车刀为例来介绍刀具部分几何角度的定义，这些定义也适用于其它刀具。

如图1—2所示，车刀是由刀头和刀杆组成。刀头用来切削，又称为切削

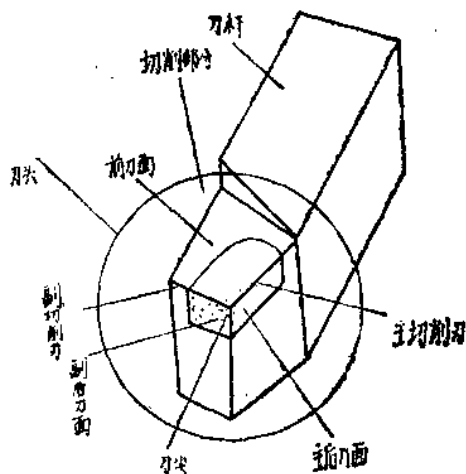


图1—2 车刀组成

部分。刀杆是用来将车刀夹固在车床刀架上。车刀切削部分一般由三个表面、两个刀刃和一个刀尖组成。

前刀面——刀头上控制切屑沿着它排出的刀面，即与切屑相接触的刀面。

主后刀面——刀头上与加工表面相对着的表面。

副后刀面——刀头上与已加工表面相对着的表面。

主切削刃——前刀面和主后刀面的交线，它承担着主要切削工作。

副切削刃——前刀面和副后刀面的交线。通常靠近刀尖处的副切削刃起微量切削作用，在大进给切削时，副切削刃也起主要切削作用。

刀尖——主、副切削刃的交点。通常刀尖用直线或圆弧取代它，以提高刀具使用寿命。

任何刀具都有上述刀面、切削刃和刀尖，但其数目不完全相同，例如切断刀有两个副切削刃和二个刀尖。

2、坐标平面 刀具几何角度是表示刀面和切削刃相对于工件的空间位置。它的大小对刀具切削性能有直接影响。为了确定刀面和刀刃的空间位置，需要选择坐标平面。

基面是通过切削刃上选定点而又垂直于该点相对运动速度的平面。若不考虑进给运动时，相对运动速度就是切削速度。所以基面是过切削刃上选定点，并垂直于该点切削速度的平面。如图 1—3 所示，当车刀的主切削刃与工件中心等高，且刀尖对准工件中心时，则基面与刀杆安装定位平面相平行。

切削平面是过切削刃上选定点并与工件上加工表面相切的平面，即与切削刃相切并包含相对运动速度的平面。若不考虑进给运动，当主切削刃刀尖与工件中心等高时，切削刃上各点的切削速度矢量垂直向下，所以切削平面是垂直平面，如图 1—3 所示。

主剖面是过切削刃上选定点并垂直于主切削刃在基面上的投影的平面，如图 1—4 所示。

面中 $1'-2'$ 为主切削刃在基面上的投影，主剖面为垂直于 $1'-2'$ 的平面。

基面、切削平面和主剖面构成一个空间直角坐标系，称为主剖面坐标系。通常，刀具的几何角度在主剖面坐标系内度量。主剖面坐标系空间位置见图 1—5。

对于副切削刃同样通过选定点可建立上述坐标系。

3、刀具几何角度的基车定义 在刀具图纸上标注的角度称为标注角度，也就是制造、刃磨时控制的角度。刀具标注角度是在上述坐标系内度量的。车刀的标注角度如图 1—6 所示。

(1) 在主剖面内测量的角度

前角 γ_0 ——前刀面与基面之间的夹角。前角 γ_0 可为正值或负值。过刀尖的基面在前

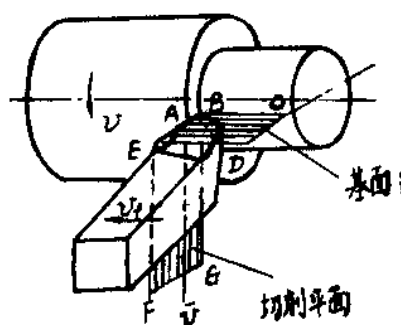


图 1—3 车刀基面与切削平面

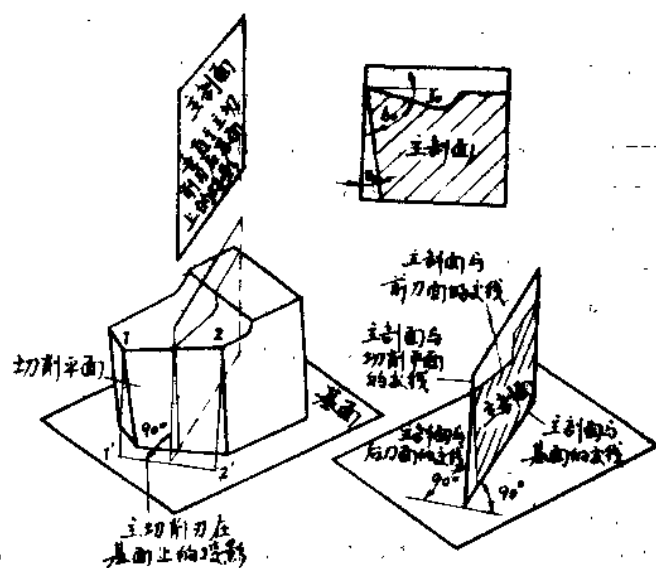


图1-4 车刀的主切削面及主切削面坐标系。

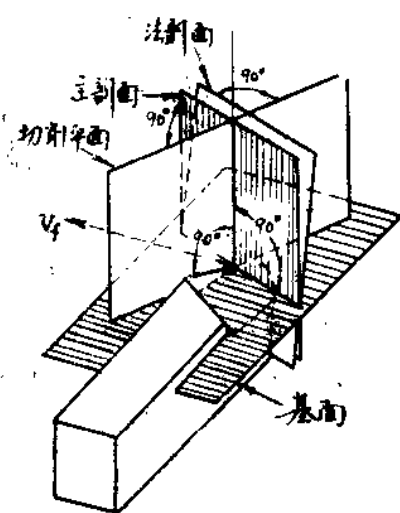


图1-5 车刀的坐标平面

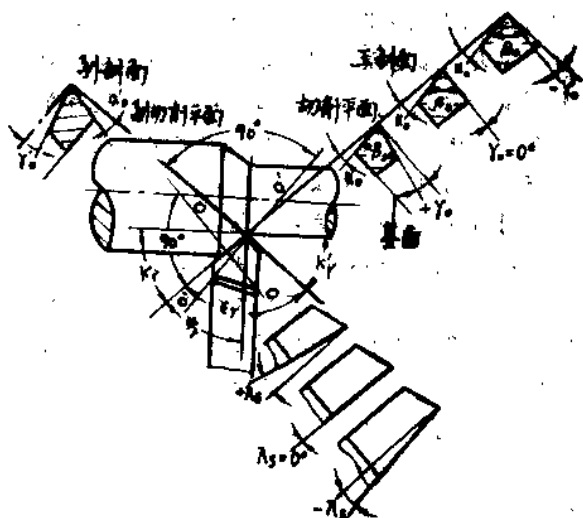


图1-6 车刀的标注角度

刀面下面时，前角为负值。

后角 α_0 ——后刀面与切削平面的夹角。

楔角 β_0 ——前刀面与后刀面之间的夹角。它和前角 γ_0 和后角 α_0 存在下列关系：

$$\beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)$$

(2) 在基面内测量的角度

主偏角 κ_T ——主切削刃与进给方向在基面上的投影之间的夹角。

副偏角 κ_T' ——副切削刃与进给反方向在基面上的投影之间的夹角。

刀尖角 ε_T ——主切削刃与副切削刃在基面上的投影之间的夹角

$$\varepsilon_T = 180^\circ - (\kappa_T + \kappa_T')$$

(3) 在切削平面内测量的角度

刃倾角 λ_s ——主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角 λ_s 可为正值、负值或零。如图1—7所示。

(4) 在副剖面内测量的角度

副后角 α_0' ——副后刀面与副切削平面之间的夹角。

车刀有主切削刃和副切削刃。每个切削刃可建立一个坐标系(基面、切削平面、主剖面)。而在每一个坐标系的三个坐标平面上,都可以测量出四个基本角度:前角、后角、刃倾角和偏角。所以

车刀一共可以测量出8个角度。但因主副切削刃公有前刀面,因而副前角和副刃倾角不是独立角度,因此车刀的独立角度为6个角:前角 γ_0 、后角 α_0 、刃倾角 λ_s 、主偏角 κ_T 、副偏角 κ_T' 和副后角 α_0' 。这些角度对切削过程影响很大,必须根据具体情况选择合理数值,并在刀具工作图上标注出。那些非独立派生角度在刀具工作图上不必标出。

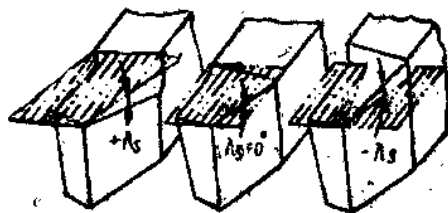


图1—7 车刀的刃倾角

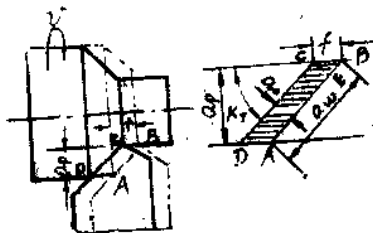


图1—8 切削层参数

三、切削层参数

工件上正在被切削刃切削着的一层金属,称为切削层。车削外圆时,切削层是工件转一转主切削刃相邻两个位置间的一层金属。切削层被基面剖得的形状和尺寸见图1—8。切削层尺寸称为切削层参数。

1、切削厚度 a_c ——切削层的厚度,它是垂直于主切削刃在基面上的投影来度量的切削

层的尺寸,单位为mm。由图可知,

$$a_c = f \sin \kappa_T \text{ mm}$$

用曲线切削刃进行切削时,曲线切削刃上各点的主偏角不相等,所以切削刃上各点的切削厚度是变化的,如图1—9所示,愈靠近刀尖,切削厚度愈小。

2、切削宽度 a_w ——切削层的宽度。它是沿着主切削刃在基面上的投影来度量的切削层尺寸,单位为mm。它表示主切削刃参加工作的长度。由图1—8可知,

$$a_w = \frac{a_p}{\sin \kappa_T}$$

3、切削层面积 A_c ——切削层横断面面积,它是切削层在基面上的面积,单位为 mm^2 。

在相同的切削深度 a_p 和进给量 f 的条件下,用不同主偏角的车刀进行车削时,它的切削层横断面形状不同,但其面积相同。如图1—10所示,主偏角增大,切削厚度增大,而切削宽度减少。利用切削厚度和切削宽度能精确地阐明切削过程的物理本质,所以它们也称为物理切削要素。

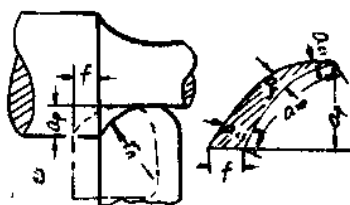


图1—9 曲线形切削刀的 a_c 和 a_w

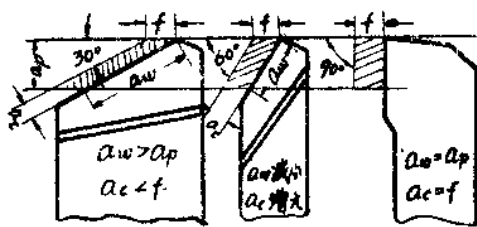


图1—10 主偏角对切削层尺寸的影响

四、刀具的工作角度

刀具的工作角度是车刀在切削时实际的切削角度。而车刀标注角度是在车刀的 λ_s 等于零、刀尖对准工件中心和进给量 $f=0$ 的条件下规定的角度。在切削过程中,上述条件往往发生变化,坐标平面的位置也将改变,导致切削过程中实际的切削角度与标注角度不同。在一般情况下,工作角度与标注角度相差不多。但在某些情况下,二者相差较大,必须按工作角度求出标注角度,以保证车刀具有合理的切削角度。

1、刀尖安装高低对工作角度的影响

图1—11是切断刀的三种安装情况。当刀尖对准工件中心安装时,切削平面与车刀底面相垂直面基面与车刀底面而相平行。若刀尖安装得高于或低于工件中心时,则切削平面与基面发生倾斜从而引起切削角度发生变化。当刀尖安装得高于工件中心时,前角 γ_0 增加,后角 α_0 减小。与此相反,如果刀尖安装得低于工件中心,则前角 γ_0 减小,后角 α_0 增大。工作角度与标注角度的关系如下,

$$\gamma_{0c} = \gamma_0 \pm \tau;$$

$$\alpha_{0c} = \alpha_0 \mp \tau。$$

式中 γ_{0c} ——刀具工作前角;

α_{0c} ——刀具工作后角;

τ ——刀具角度变化值,由图1—11可得;

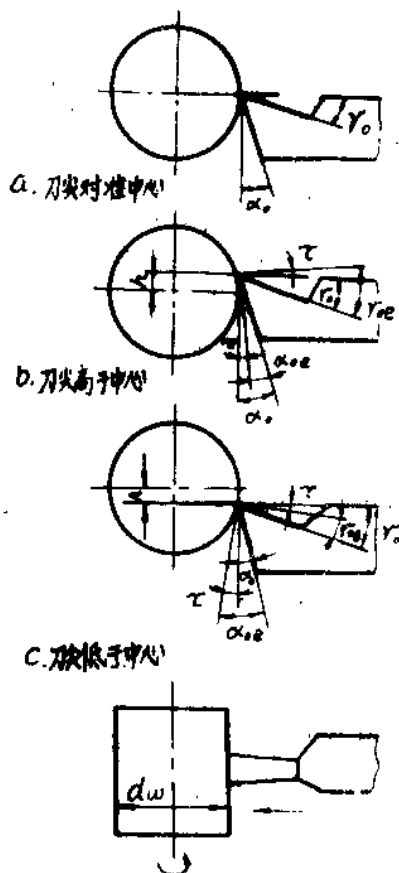


图1—11 车刀刀尖安装高低对工作角度的影响

$$\sin \tau = \frac{2h}{dw}$$

对于外圆车刀来说，当刀尖不对准工件中心安装时，工作角度也发生类似变化。而镗孔时刀尖安装位置对工作角度的影响则与外圆车削相反。

2. 进给运动对工作角度的影响

图1—12为车削外圆情况。车削时，除工件旋转外，车刀尚须作纵向移动，这时所形成的切削表面为阿基米得螺旋面。此时，实际的切削平面由原来的A—B位置转至A—C位置。此二平面的夹角为 μ ，因此，车刀的工作后角减小，工作前角增大。其工作角度与标注角度的关系如下：

$$\alpha_{0e} = \alpha_0 - \mu ;$$

$$\gamma_{0e} = \gamma_0 + \mu .$$

当工件转一转时，车刀刀尖由C点移至B点，而 $CB = f$ 。将车刀螺旋运动的轨迹展开后，得一直角三角形ABC，由此三角形可得：

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{f}{\pi D}$$

一般车削时，进给量 f 较小，由进给运动所引起的 μ 值不超过 $30' \sim 1^\circ$ ，故可忽略不计。但当车削大螺距的螺纹时， μ 值较大，应予以考虑。

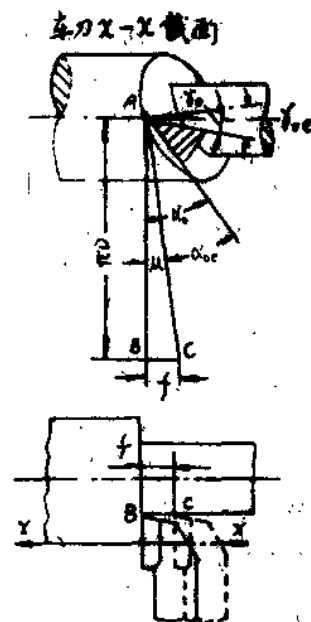


图1-12 进给运动对工作角度的影响

第二节 金属切削过程

切削时刀具挤压切削层，使之与工件分离变成切屑，获得需要的表面，这个过程称为切削过程。

在切削过程中会出现许多现象和规律，如切削变形、切削力、切削热和刀具磨损等。这些现象和规律直接影响着刀具的寿命、加工质量、切削效率以及切削加工的经济性。这些规律和现象是进一步研究工件质量、生产率和加工成本的基础知识。

一、切屑的形成过程和切屑的种类

图1—13所示为低速切削的情况。当刀具与工件开始接触的最初瞬间，使工件的内部产生弹性变形。随着切削运动的继续，刀刃对工件材料挤压作用加强，使金属材料内部的应力和应变逐渐增大。当材料内部的应力，达到屈服极限时，被切削的金属层开始顺着剪应力最大的方向滑移，产生塑性变形。图1—13中的OA就代表始滑移面。以图中P

点为例，当点到达1的位置时，由于OA面上的剪应力达到材料屈服极限，则点1在向前移动的同时，也沿OA移动，其合成运动将使点1流动到点2， $2'-2$ 就是它的滑移量。当移动到点4的位置时，其流动方向与前刀面平行所以不再沿OM面滑移，随着滑移的产生，剪应力逐渐增加。当应力达到强度极限时，被切削层沿切削刃与工件基体分离，从而形成切屑沿前刀面流出。OM代表终滑移面，始滑移面和终滑移面之间的变形区称为滑移变形区。

始、终剪切面之间的变形区称为第一变形区，其宽度很窄，约为0.02~0.2毫米。通常就用平面OM来表示这一变形区。

切削层的金属经过第一变形区后，切离工件基体，形成切屑沿前刀面流出。当切屑沿前刀面流出时，受到前刀面挤压和摩擦。在前刀面摩擦阻力的作用下，靠近前刀面的切屑底层金属再次产生剪切变形。使切屑底层薄薄的一层金属流动滞缓。流动滞缓的一层金属称为滞流层，这一区域又称为第二变形区，如图1—14所示。它的变形程度要比切屑上层大几倍至几十倍。

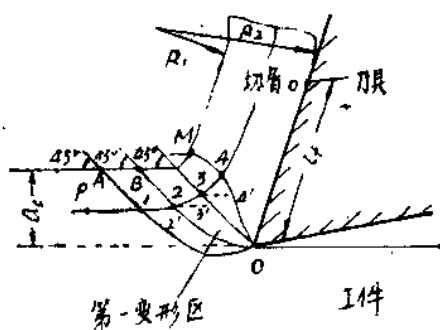


图1—13 切屑的形成过程

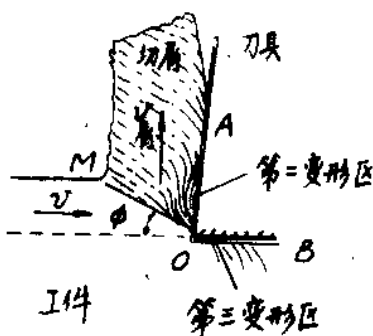


图1—14 切削过程的三个变形区

由上述可知，被切削层的金属是由于刀具的挤压而产生弹性变形、塑性变形，从而切离工件本体形成切屑。当切屑的内应力小于材料的强度极限时，则切屑连绵不断，没有裂纹，靠近前刀面的一面很光滑，另一面成毛茸状，形成常见的带状切屑(见图1—15)。

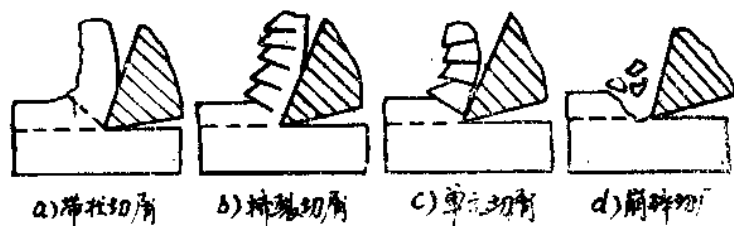


图1-15 切屑种类

若被切削的金属塑性较小，或被切削的金属塑性变形过大，以致使材料到达终剪切面OM之前，内应力已达到强度极限，则金属将沿某一破裂面破裂。当塑性变形很充分，材料塑性全部耗尽时，则裂纹贯穿整个切屑厚度，形成单元切屑(图1—15c)。当材

料塑性变形较大，但不是很充分时，则切屑只在上部被挤裂，而下部仍旧相连，形成挤裂切屑(图1—15b)。

在切削灰铸铁等脆性金属时，由于材料的塑性很小，切削层在刀具作用下，产生弹性变形之后，内应力很快达到强度极限，使切屑往往不产生塑性变形而瞬间发生崩裂，形成崩碎切屑(图1—15d)。

形成带状切屑时，切屑与前刀面的接触长度较大，切削力的作用中心离刃口较远(图1—16)。切削过程比较平稳，工件加工表面粗糙度低，但切屑太长，需要采取断屑措施。形成挤裂切屑时，切削力有波动，切削过程欠平稳，表面粗糙度也较高。形成单元切屑时，切削力变化更大，切削时振动较大，工件表面粗糙度高。形成崩碎切屑时，切削力的变化最大，振动严重，而且切削力的作用点十分靠近刃口，切削温度也以刃口附近最高，所以刃口易被磨损。切屑崩离时，它与工件分离的表面很不规则，所以表面粗糙度最高。

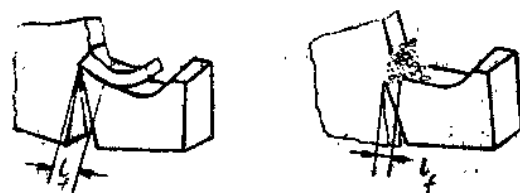


图1—16 形成带状切屑和崩碎切屑时切削力的作用中心

由于各种不同切屑对切削效率、刀具寿命和加工质量的影响不同，因此可以用改变切削条件的办法来控制切屑的形态，以控制切削过程。

二、积屑瘤

在低速切削塑性金属时，往往在前刀面上刃口处粘结着一小块金属，它能代替切削刃切削金属，这块粘结在前刀面上的金属叫做积屑瘤(图1—17)。

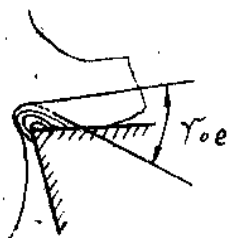


图1—17 积屑瘤

切削塑性金属时，切屑经过第二变形区，其底层因受前刀面的挤压和摩擦作用，减低了流动速度，这层流速较慢的金属称为滞流层。切屑上层金属与滞流层之间产生相对滑移，它们之间的滑移阻力，称为内摩擦力。在切削时所产生的温度和压力作用下，当刀具前刀面与切屑底部滞流层间的摩擦力(外摩擦力)大于内摩擦力时，滞流层的金属与切屑分离而粘结在前刀面上。随后形成的切屑，其底层则沿着这被粘结的一层相对流动，以致切屑的底部又产生新的滞流层。当他们之间的摩擦阻力大于上层金属的内摩擦力时，新的滞流层又产生粘结，这样一层一层地粘结，从而逐渐形成一个楔块，这就是积屑瘤。

积屑瘤能保护切削刃，减少前后刀面的磨损，增加前角。但是积屑瘤的顶端从刀尖伸向工件内层，使实际切削深度和切削厚度发生变化，如图1—18所示，将影响工件的尺寸精度。积屑瘤极不稳定，时失时现，时大时小，使已加工表面粗

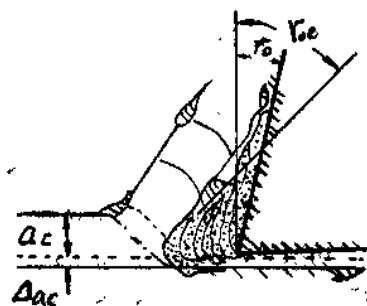


图1—18 积屑瘤对切削深度的影响

糙度上升，並易引起振动。

影响积屑瘤的主要因素是工件材料、切削速度、进给量、前角和冷却润滑液等。

切削速度对积屑瘤的影响如图1—19所示。在中等切削速度时积屑瘤最大，因为此时切削温度约为300℃左右，这时外摩擦系数最大。高速或低速时，会使切削温度高于或低于300℃，外摩擦系数降低，从而使积屑瘤减少。由此可知，提高或降低切削速度是减小积屑瘤的措施之一。

此外，增大前角 γ_0 ，减小进给量、降低前刀面的粗糙度或合理地使用冷却润滑液，都可以减少积屑瘤。

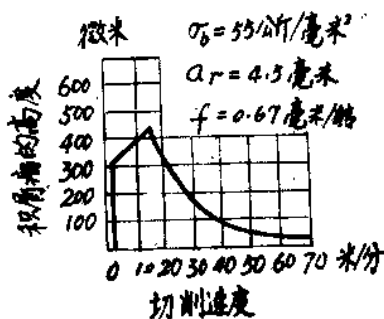


图1—19 切削速度对积屑瘤的影响

三、已加工表面的变形

已加工的表面是经过多次复杂的变形而形成的。图1—14中的OB表示工件加工表面与刀具后刀面接触处的第三变形区。切削时所使用的刀具无论磨得如何锋利，实际刃口总是近似于一般圆弧，如图1—20所示。其曲率半径 r_e 的大小与刀具材料、刃磨情况和磨擦程度有关。新刃磨的刀具的 r_e 约在10~20 μm 之间，由于这段刃口圆弧的影响，使o点以下厚度为 Δa_e 的一层金属无法切下，而是被刃口挤压在工件表面上；使这层金属产生很大的弹性变形，而刀刃挤过后，已加工表面又产生弹性恢复， Δh 就表示弹性恢复的高度。它使后刀面与加工表面在一段长度上接触摩擦加剧，已加工表面的变形严重。

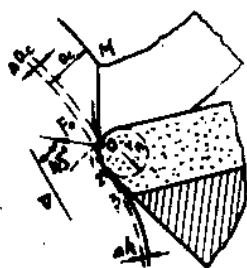


图1—20 刃口圆弧

上述变形结果，使已加工表面的硬度增加，称为加工硬化。硬化层的硬度可达原工件硬度的1.2~2倍，深度可达0.01~0.05毫米。切削加工所造成的已加工表面硬化层常常伴随着表面裂缝，使材料的疲劳强度下降，并且使下道工序的刀具易被磨损，因此，应设法减轻或避免这种现象。

上述第一变形区是主要的变形区，金属切削时的大部分能量消耗在这一区域。切屑和前刀面接触摩擦的第二变形区主要影响摩擦力的大小和由摩擦而产生的切削热，从而进一步影响刀具磨损。第三变形区主要影响已加工表面的质量。

第三节 切 削 力

一、切削力的来源和解解

切削时，在刀具作用下，切削层与加工表面层发生弹性变形与塑性变形，因此有变形抗力作用在车刀上。又因切屑与刀具前刀面、刀具后刀面与工件加工表面之间有相对运动，所以还有摩擦力作用在刀具上，如图1—21所示。作用在前刀面上的变形抗力 F_{ny}

和摩擦力 F_{fr} ，其合力为 F_{ra} ，作用在后刀面上的变形抗力 F_{na} 和摩擦力 F_{fa} 其合力为 F_{ra} 。作用在前后刀面上的 F_{ra} 和 F_{na} 的合力 F_r 是总的切削力。合力 F_r 大小和方向不易测量。为了便于测量、研究以及适应设计与使用机床、刀具和夹具的实际需要，常将合力 F_r 分解为三个分力(图1—22)。

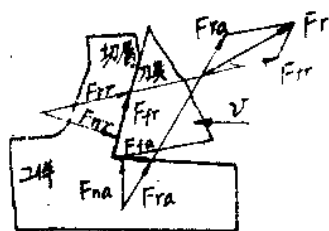


图1—21 作用在刀具上的力

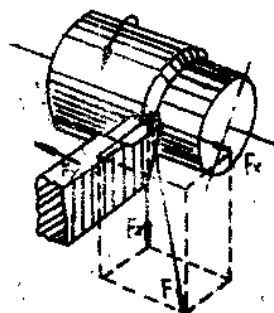


图1—22 切削力的分解

主切削力 F_z ——作用在主运动方向上的分力，它消耗的功率最多，是计算机床动力、校核机床和工夹具的强度和刚度的重要的数据。

切深抗力(径向力) F_y ——作用在吃刀方向上的分力。它能使工件弯曲变形和引起振动，对加工精度和表面粗糙度影响较大。由图1—23可知， $F_y = F_N \cos K_T$ 。

进给力(轴向力) F_x ——作用在进给方向上的分力。进给力所消耗的功率只占总功率的1%左右。进给力作用在机床的进给机构上，是设计和校验进给机构强度所必须的数据。由图1—23可知， $F_x = P_N \sin K_T$ 。

已知三个分力的数值以后，合力 F_r 可按式计算：

$$F_r = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2}$$

实验证明， F_y 和 F_x 对 F_z 的比值随具体切削条件的不同在很大的范围内变化：

$$F_y = (0.15 \sim 0.70) F_z, \quad F_x = (0.10 \sim 0.60) F_z$$

二、影响车削力的因素

1. 工件材料 工件材料对切削力的影响较大，工件材料的硬度和强度愈高，变形抗力愈大，切削力就愈大。切削力还与塑性变形及摩擦系数的大小有关。当材料的强度相同时，塑性和韧性大的材料，加工时切削力大。钢的强度与变形大于铸铁，因此切钢时的切削力大于切铸铁时的切削力。

2. 切削用量 切削深度 a_p 和进给量 f 通过对切削面积和单位切削力的影响来影响切削力。所谓单位切削力是指切下单位切削面积所需要的力。当 a_p 和 f 增加时，切削面

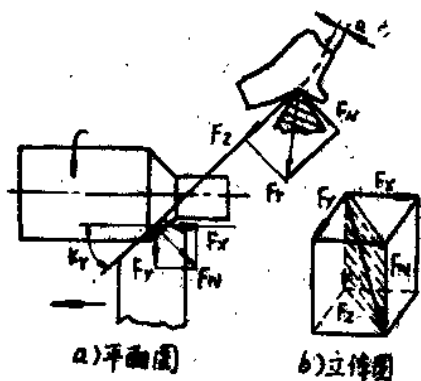


图1—23 切深抗力 F_y 和进给力 F_x 的求法

积成正比增加,故切削力也增加,但二者影响的程度不同。 a_p 增加一倍时,切削力也增加一倍, f 增加一倍时,切削力只增加70%左右。

上述现象可作如下解释:在整个切削断面内,变形并不是均匀的,如图 1—24 所示,

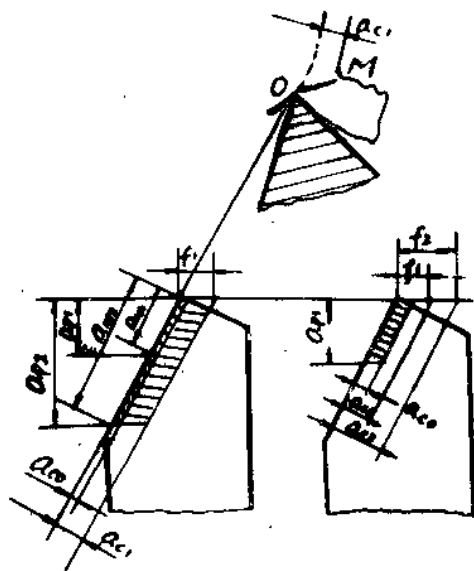


图 1—24 a_p 和 f 对切削力的影响

直接受刃口挤压的切屑底层金属变形较严重,其厚度为 a_{c0} ,其它部分不受刃口直接挤压,而只受前刀面挤压,变形较小。当切削宽度 a_w (a_p) 增加一倍时,切削层的切削面积增加一倍。而切削层底层的严重变形层占整个切削面积的比值不变,所以切削力也增加一倍。当 a_c (f) 增加一倍时,虽然切削面积也增加了一倍,但切削层底层严重变形层 a_{c0} 基本不变,故严重变形层所占整个切削面积的比例相对减少,从而使切削力未增加一倍,切削深度 a_p 和进给量 f 与切削力的关系可用以下实验公式表示:

$$F_z = CF_z a_p^{x_{Fz}} \cdot f^{y_{Fz}}$$

通常 $x_{Fz} = 1$, $y_{Fz} = 0.75$ 。

切削塑性材料时, v 对切削力的影响如图 1—25 所示。加工普通钢时,在 $v = 0 \sim 50 \text{ m/min}$ 的范围内,随着 v 的增加,积屑瘤由小变大,然后又变小,切削力也随之由大变小,又变大。这是因为积屑瘤增大时,增加了实际的前角,使切屑易于流出,减少了变形,从而减少了切削力。而当积屑瘤减小时则相反。在 $v \geq 50 \text{ m/min}$ 以后,随着 v 的增加,温度升高,摩擦系数减小,所以切削力降低,但变化较小,例如当 v 从 50 m/min 增至 500 m/min 时,切削力只减少 40% 左右。

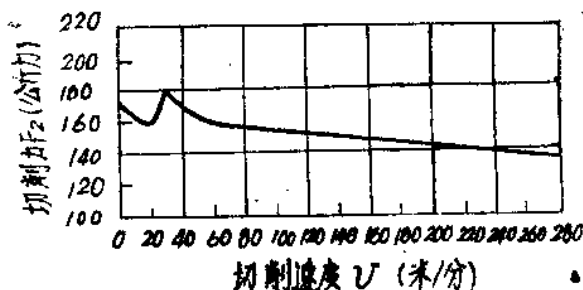


图 1—25 切削速度对切削力的影响

3. 刀具方面

前角 γ_0 对切削力的影响较大。当 γ_0 增加时,切屑易从前刀面排出,减小了切削变形,从而使切削力下降。反之,当 γ_0 减小时,切削力增加。

主偏角对各切削分力 F_z 、 F_y 和 F_x 都有影响。但对 F_y 和 F_x 的影响较大。对于刀尖圆弧半径 $r_c = 0$ 的车刀来说,当 K_r 增加时, a_w 减小,而 a_c 增加。由上述可知, a_w 减小一倍

时切削力也减小一倍, 而 a_p 增加一倍时, 切削力增加不到一倍, 所以 F 随着 K_T 增加而减小。 K_T 角对 F_y 和 F_x 的影响比较显著。已知 $F_y = F_n \cos K_T$, $F_x = F_n \sin K_T$, 所以当 K_T 增加时 F_y 下降, 而 F_x 增加。

刀尖圆半径 r_e 增加时, (如图 1—26 所示), 将使参加工作的曲线刀刃长度增加, 它将引起切屑不易流出, 从而使切削变形增加, 而导致切削力增加。同时工作的曲线刀刃长度增加, 降低了 K_T 的平均值, 这又会使 F_y 增加, F_x 减小。此外刀具磨损、后角 α_0 、刀具材料、冷却润滑液等因素对切削变形和摩擦有影响, 故对切削力也有一定影响。

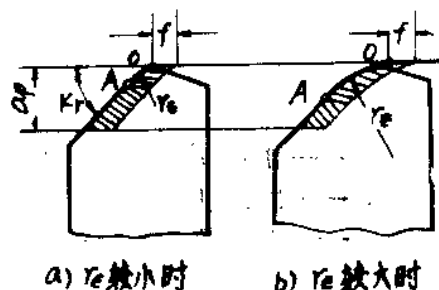


图 1—26 r_e 对切削断面形状的影响

三、车削力的计算

影响切削力的因素很多, 通常用实验方法求出切削力与 a_p 和 f 的关系

$$F_z = CF_z \cdot a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}} \cdot K_{F_z} \quad (\text{kg})$$

式中 CF_z ——系数, 在一定的切削条件下, CF_z 为一常数, 当条件改变时, CF_z 也随之改变;

x_{F_z} , y_{F_z} ——指数

K_{F_z} ——切削条件变化时各种修正系数的乘积。

表 1—1 为 F_z 的系数、指数和修正系数, 它是在下列实验条件下, 通过实验求得的。

表 1—1 计算 F_z 力的系数、指数和修正系数

系 数 及 指 数							
工 件 材 料		CF _z		x F _z		y F _z	
结 构 钢 σ _b = 75公斤/毫米		167		1.0		0.75	
修 正 系 数							
工 件 材 料	σ _b	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
	K _{材料F_z}	0.84	0.9	0.95	1.0	1.04	1.09
切 削 速 度	v	50	100	200	300	400	500
	K _{vF_z}	1.0	0.9	0.82	0.77	0.74	0.71
主 偏 角	K _T	30°	45°	60°	70°	90°	
	K _{K_TF_z}	1.08	1.0	0.96	0.94	0.89	
前 角	γ ₀	+20°	+10°	0°	-10°	-20°	
	K _{γF_z}	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	
后刀面磨钝标准	VB	0.9~1.2			1.5~2.0		
	K _{bF_z}	1.0			1.05		