
机械类技工学校教改试用教材

车工工艺学

机械电子工业部统编



机械工业出版社

法、考试内容等方面进行配套改革。

这套教材肯定尚有不足和错误之处，诚恳欢迎大家提出批评、建议，以便再版时修正。

本书绪论、第二章由重庆机械技工学校程荣安编写，第一章、第八章由天津机电技工学校陈跃林编写，第三章由重庆机械技工学校王永林编写，第四章、第五章由湘潭电机厂技工学校吴国英编写，第六章由上海汽轮机厂技工学校秦伟民编写，第七章由上海汽轮机厂技工学校文定国编写；全书由程荣安主编，由天津机电技工学校张云福主审，哈尔滨电机厂技工学校李东光协审。

机械电子工业部技工学校教材编审领导小组

1989年6月

机械电子工业部技工学校教材编审 领导小组名单

组长：王文光 副组长：刘起义 周志祥

组员：(以姓氏笔划为序)王淑杰 刘巨民 李天夫 李启生 迟俊鹏
张子中 张云福 张章福 梁昌荣 黄德怀

冷加工工种教材编审委员会名单

主任：黄德怀 副主任：迟俊鹏

委员：刘冠华 张云福 孟宪水 陈继琨 周裕成

热加工工种教材编审委员会名单

主任：张子中

委员：孙维志 徐景锐

电工工种教材编审委员会名单

主任：刘巨民

委员：王文堂 辛永平

焊接、冷作工工种教材编审委员会名单

主任：梁昌荣

委员：沈德成 谢振康

前 言

机械工业技工学校教育是为机械行业培养中级以上技术工人的一个十分重要的教育层次。它对机械工业的发展有着直接的影响。近 10 年来,机械工业技工学校在各级领导的关怀和支持下,通过广大教职工的努力,得到了迅速恢复和发展,为振兴机械工业发挥了重要作用。但是,技工教育的现状和生产发展的需要相比,还远远不能适应;其中最突出的一个方面是教学质量低,离培养目标还存在着明显的差距。

为了大力提高教学质量,实现培养目标要求,更好地为机械工业的振兴和发展服务,“六五”期间,机械工业部在大力恢复、整顿、发展技工学校的同时,就开始对技校教学改革进行了积极的研究和探索:系统地总结了建国以来机械工业发展的基本经验;组织考察了瑞士、捷克、日本和联邦德国职业技术教育;在大量调查研究的基础上,根据《中共中央关于教育体制改革的决定》精神和劳动部对技工学校教学改革的要求,提出了教学改革的设想,组织一部分骨干技工学校开展了以加强生产实习教学、提高学生的动手能力和适应能力为中心的教学改革试点。几年来,教改试点取得了明显的成果,积累了一些经验,得到了国家教育委员会职业教育司、劳动部培训司等部门领导的肯定和支持。

目前,技工学校教学改革正在深化、发展,为了适应改革形势的需要,在认真、全面地总结教改试点经验的基础上,并从我国国情出发,借鉴国外技工培训的有益经验,我们以部颁《工人技术等级标准》为基本依据,制订了试行的《机械类技工学校教改教学计划教学大纲》、《机械类技工学校生产实习教学大纲》,组织编写了与此相适应的机械类技工学校教改试用教材。

这套新教材紧紧把握住技工教育的方向和培养目标,贯彻了以生产实习教学为主、着重操作技能训练和适当扩大训练范围的原则;其理论课程的设置及内容,按照适应操作技能培养和今后继续进修提高本职工作能力的需要来安排,体现了以应用知识为主,突出针对性、实践性和适应性的原则。

这次编写的教材包括车工、钳工、铣工、铸工、焊工、冷作工和电工七个工种的生产实习教材(含技能培训图册和技能培训理论),工种工艺学,基础理论课和文化课(含工厂管理)教材。其中生产实习教材是我国机械行业首次编写的。其他工种的改革试用教材今后将继续在试点的基础上组织编写。

新教材适用于招收初中毕业生、学制三年的技工学校和其他中等职业技术培训学校机械专业。其生产实习教材也可做为企业初、中级技术工人操作技能培训教材。

新教材是在机械电子工业部技工学校教材编审领导小组的领导下,分别由冷加工、热加工、电工和焊工、冷作工等工种教材编审委员会直接组织编写、审定的。在编写过程中,得到了各改革试点学校、机械工业出版社以及有关方面的热情支持和帮助,谨向他们致以衷心的感谢!

改革试用教材是机械行业范围内机械类技工学校的正规教材。各学校在使用新教材时,可以根据实际情况,对教材内容做局部、适当的调整;同时,还要注意在教学方法和考试方

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 切削原理与刀具	2	
第一节 基本概念	2	
第二节 切削过程的基本规律	10	
第三节 车刀材料的选择	23	
第四节 车刀合理几何形状的选择	29	
第五节 切削用量的选择	37	
第六节 切屑的控制	41	
第七节 细化表面粗糙度的方法	47	
第八节 难加工金属材料的车削	50	
第九节 可转位车刀简介	56	
复习题	60	
第二章 基本表面的形成及形状误差的分析	62	
第一节 圆柱面	62	
第二节 端(平)面	66	
第三节 圆锥面	68	
第四节 成形面	71	
第五节 螺旋面	74	
第六节 工艺系统的几何误差	79	
复习题	82	
第三章 零件加工工艺分析	83	
第一节 概述	83	
第二节 轴类零件工艺分析	86	
第三节 套类零件工艺分析	93	
第四节 圆锥零件工艺分析	98	
第五节 螺纹及蜗杆工艺分析	106	
复习题	137	
第四章 复杂零件的加工工艺分析	138	
第一节 壳体和轴承座的工艺分析	138	
第二节 细长轴和空心轴的工艺分析	143	
第三节 偏心工件的工艺分析	149	
复习题	151	
第五章 车床夹具	152	
第一节 基本概念	152	
第二节 工件的定位	154	
第三节 工件的夹紧	167	
第四节 车床专用夹具	173	
第五节 组合夹具	179	
复习题	182	
第六章 车床	183	
第一节 机床型号	183	
第二节 C620-1型车床	187	
第三节 CA6140型车床	203	
第四节 其他车床简介	215	
第五节 车床精度的检验及对加工质量的影响	220	
复习题	231	
第七章 机械加工工艺规程	233	
第一节 概述	233	
第二节 零件图的工艺分析	239	
第三节 毛坯的选择	241	
第四节 拟定工艺规程的几个问题	243	
第五节 工序尺寸和工序余量的确定	250	
第六节 工艺规程的编制步骤和实例	261	
复习题	274	
第八章 提高劳动生产率的途径	277	
第一节 概述	277	
第二节 缩短基本时间的途径	278	
第三节 缩短辅助时间的途径	280	
复习题	285	

绪 论

利用切削工具从工件上切除多余金属材料的加工方法叫切削加工。车削加工就是在车床上利用工件旋转作主运动，车刀作进给运动的切削加工方法。车削加工范围很广，就基本内容来说，可以车外圆、车端面、切断和车槽、钻中心孔、钻孔、车内孔、铰孔、车各种螺纹、车内外圆锥面、车特形面、滚花和盘绕弹簧等。它们都具有共同的特点——带有旋转表面。一般来说，机器中带旋转表面的零件所占的比例是很大的。在车床上如果装上其他附件和夹具，还可以进行镗削、磨削、研磨、抛光及加工各种复杂零件的圆柱体和圆柱孔等。总之，车削加工在机器制造业中应用得非常普遍，因而它占有十分重要的地位。

《车工工艺学》是一门研究车削加工方法和车削加工过程的技术科学，是车工工种的专业理论课程。

本教材在编写过程中，继承了以前《车工工艺学》教材的成果，并且吸取了技工学校教学改革的实践经验，注意了理论联系实际，注重培养学生运用所学的理论知识分析和解决工艺问题的能力，帮助和指导学生进一步提高操作技能。

学习本门课程，学员应通过一定时期的车工操作技能培训，并在学习《车工技能培训理论》的基础上进行，其目的是为了使学员进一步系统地掌握车削加工工艺的基础理论知识。从掌握一般操作的技术基础理论到学习整个加工工艺的基础理论是一个质的飞跃，后者比前者理论性更强，涉及的内容更多，学习起来也比较困难。但两者都是在生产实践的基础上发展起来的，又和生产实践紧密相连。所以只要认真进行生产实习，注意总结实践经验，理论联系实际，善于思考，要掌握这些理论知识也是不难的。

本课程的内容广泛，主要包括：切削原理与刀具；零件表面的形成及误差分析；零件加工工艺分析；车床；车床夹具；机械加工工艺规程和提高劳动生产率途径等内容。学习本课程，应达到下列要求：

- (1) 掌握金属切削原理，学会合理选择刀具材料和刀具的几何形状，并能合理地选择切削用量。
- (2) 懂得零件基本表面的形成原理，能分析车削加工中产生各种形状误差的原因，并提出预防方法。
- (3) 掌握在车削加工中零件工艺分析的方法，解决加工中的关键技术问题。
- (4) 懂得复杂零件工艺分析的方法，掌握复杂零件的加工方法。
- (5) 能合理选择定位基准和正确装夹工件，掌握常用车床夹具的结构原理，了解组合夹具的使用方法。
- (6) 掌握常用的各种类型车床的性能、结构、传动系统、调整和维护保养方法。
- (7) 懂得工艺规程，能制订中等复杂程度的车工工艺卡片。
- (8) 对本专业新工艺、新技术有所了解，懂得节省原材料、提高劳动生产率和降低生产成本的方法。

第一章 切削原理与刀具

“切削原理与刀具”是研究金属切削加工中有关切削过程的基本规律和刀具合理选用的基础理论。应用这些理论知识指导生产，提高加工质量和生产效率，是学习“切削原理与刀具”基础理论知识的主要目的。

凡是使用刀具从工件上切除多余的金属，使被加工工件达到预定的技术要求的加工，统称为金属切削加工。

刀具是金属切削加工中应用的主要工具。为了合理地使用刀具，必须了解切削加工中切削运动、切削要素、切削过程的基本规律以及刀具几何角度和刀具材料等方面的基础理论，这对研究和分析生产中的实际问题是很有帮助的。所以，学习切削原理与刀具，是十分重要的。

第一节 基本概念

刀具的切削性能，除与刀具切削部分的材料性能有关外，还与切削部分的几何形状和角度有直接的关系。切削部分的几何形状和角度影响着刀具的寿命、加工工件的质量和生产率。所以，本节除简单介绍切削要素外，将着重介绍刀具切削部分的几何形状和角度。

一、车刀静态角度

1. 车刀切削部分的组成 车刀种类虽然很多，但它们切削部分的几何形状与角度总是近似地以外圆车刀切削部分为基本形态。下面以外圆车刀为例，说明车刀切削部分的组成及其定义，如图 1-1 所示。

切削部分是由切削刃及刀面构成的。

(1) 前刀面 (A_r) 前刀面是刀具切削部分与切屑直接相接触的表面。

(2) 后刀面 (A_a) 后刀面又称主后刀面，是与工件上的加工表面相对的刀面。

(3) 副后刀面 (A'_a) 副后刀面是和已加工表面相对的刀面。

(4) 主切削刃 (S) 主切削刃是前刀面与主后刀面的交线。

(5) 副切削刃 (S') 副切削刃是前刀面与副后刀面的交线。

(6) 刀尖 刀尖是主切削刃和副切削刃之间的连接部位。也可以是把主、副两条切削刃连接起来的一小段切削刃，这一小段切削刃可以是圆弧，也可以是直线，通常称为过渡刃，如图 1-2 所示。

2. 坐标平面 任何一把车刀，在使用之前都可以知道它将怎样装夹在车床上，有怎样

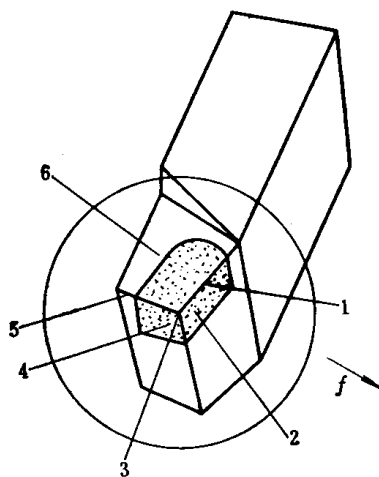


图1-1 车刀的切削部分

1—主切削刃 2—后刀面 3—刀尖
4—副后刀面 5—副切削刃 6—前刀面

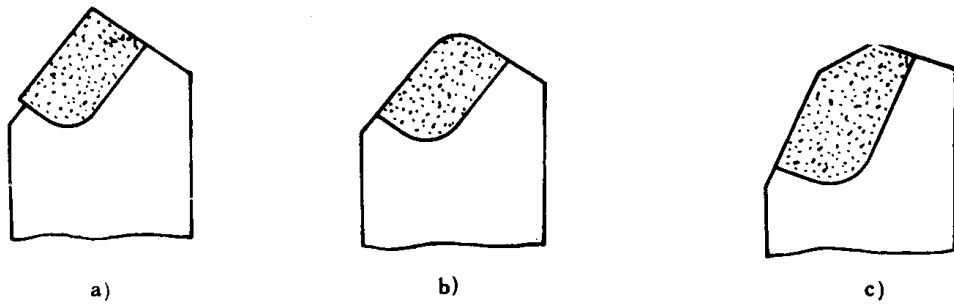


图1-2 刀尖形状

a) 切削刃交点 b) 圆弧过渡刃 c) 直线过渡刃

的切削运动，因此也就可以预先假定其工作条件。这一假定的工作条件是：

(1) 运动条件

- 1) 假定主运动和进给运动的方向。
- 2) 假定进给速度为零。

(2) 装夹条件

- 1) 假定刀杆轴线垂直于工件轴线，刀杆底面与要选择的一些辅助平面平行或垂直。

- 2) 假定切削刃选定点与工件轴线共一平面。

这种假定状态称为车刀的“静止状态”。

根据以上假定的工作条件，可选择一些辅助平面作为基准，以便制造、刃磨和测量车刀的角度。这些辅助平面有基面、切削平面和主剖面。

(1) 基面 P_r 通过切削刃上某选定点，垂直于假定主运动方向的平面。通常在静止状态下车刀的基面平行于刀杆底面，如图 1-3 所示。

(2) 切削平面 P_s 通过切削刃选定点，与主切削刃 S 相切，并垂直于基面的平面，如图 1-4 所示。

(3) 主剖面 P_o 通过切削刃选定点，并同时垂直于基面和切削平面的平面，如图 1-4 所示。

基面、切削平面和主剖面构成一个空间直角坐标系 (P_r - P_s - P_o)，称为主剖面参考系(见图 1-4)。

3. 车刀的几何角度 车刀在“静止状态”下确定的切削刃与刀面的方位角度，称为刀具静态角度，也称为刀具标注角度。由于确定刀具角度的各辅助平面沿切削刃各点可能是变化的，因此所定义的刀具角度即为切削刃选定点处的角度；凡未特殊注明者，均指切削刃上与刀尖毗邻的那一点的角度。

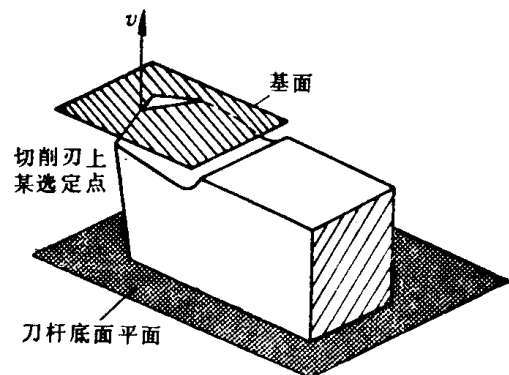


图1-3 普通车刀的基面

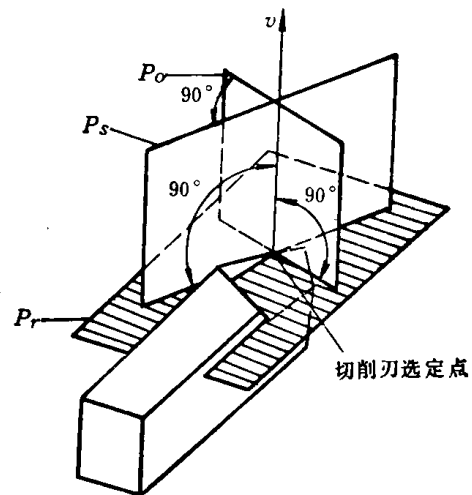


图1-4 主剖面参考系

(1) 与主切削刃有关的四个基本角度 (如图 1-5 a 所示)

1) 前角 γ 。前刀面与基面的夹角, 在主剖面内测量。

2) 后角 α 。后刀面与切削平面的夹角, 在主剖面内测量。前角与后角的正负号规定, 如图 1-5 所示。

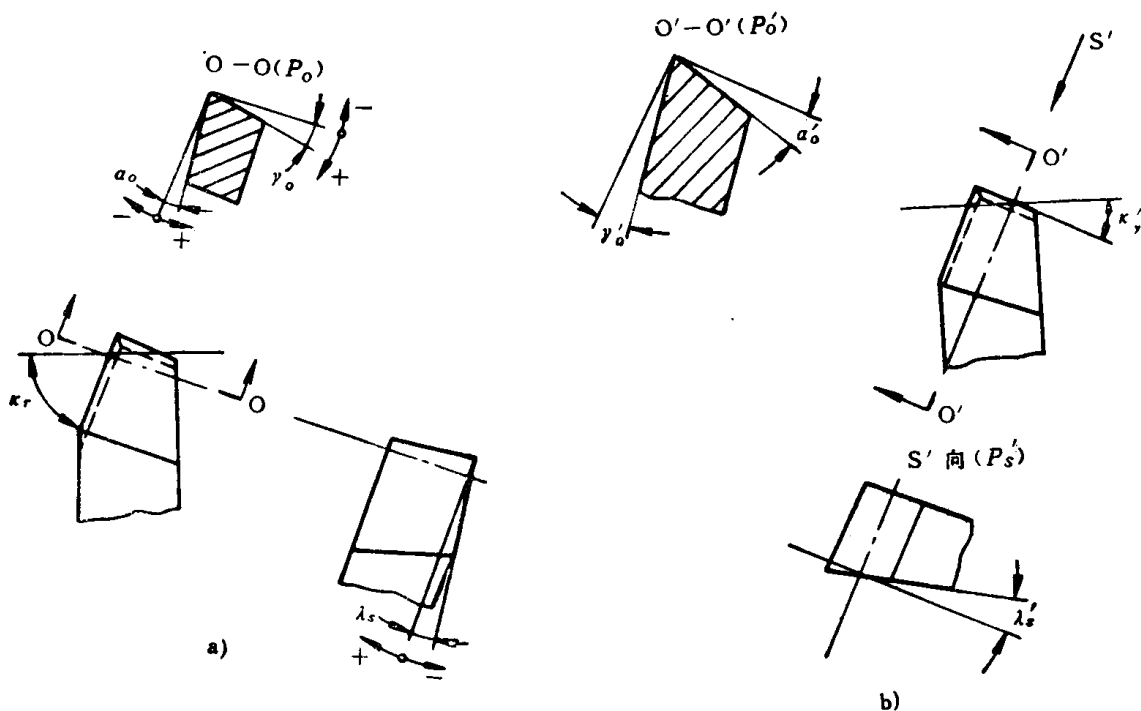


图1-5 主剖面参考系中的四个基本角度

a) 与主切削刃有关的四个基本角度 b) 与副切削刃有关的四个基本角度

3) 主偏角 κ_r 。切削平面与假定进给平面 (P_f) 的夹角。 κ_r 角总是正值, 在基面内测量。

假定进给平面是通过切削刃选定点, 平行于假定进给运动方向, 并垂直于基面的平面。

4) 刃倾角 λ 。主切削刃与基面的夹角, 在切削平面内测量。刃倾角总是锐角。主切削刃的空间方位决定刃倾角的正、负值。当刀尖在切削刃的最高点时刃倾角为正值, 刀尖在切削刃的最低点时刃倾角为负值, 当主切削刃与基面平行时刃倾角为零。如图 1-5、图 1-6 所示。

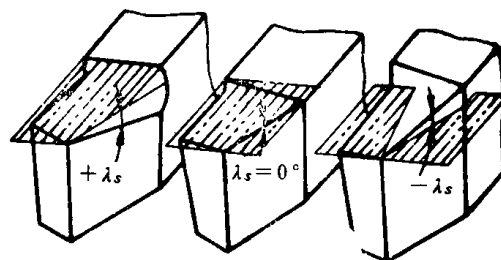


图1-6 刃倾角正负的规定

(2) 与副切削刃有关的四个基本角度 (如图 1-5 b 所示) 根据上述研究主切削刃的方法,

通过副切削刃上的选定点也可建立参考系 (副基面 P'_f 、副切削平面 P'_s 、副主剖面 P'_f 等)。在这一参考系中也可以确定四个基本角度, 即副前角 γ'_0 、副后角 α'_0 、副偏角 κ'_r 、副刃倾角 λ'_s 。

副后角是副后刀面与副切削平面的夹角, 在副主剖面内测量。

副偏角是副切削平面与假定进给平面的夹角, 在副基面内测量。

由于主、副切削刃共前刀面, 所以当主切削刃和前刀面的位置确定后, 只要给定副偏

角, 则副前角和副刃倾角也就随之确定[⊖]。

(3) 派生角度

1) 楔角 β 。前刀面与后刀面的夹角, 称为楔角。由定义可知:

$$\gamma_o + \beta_o + \alpha_o = 90^\circ \quad (1-1)$$

$$\beta_o = 90^\circ - (\alpha_o + \gamma_o) \quad (1-2)$$

2) 刀尖角 ε 。刀尖角即切削平面与副切削平面之间的夹角, 在基面内测量。由定义可知:

$$\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-3)$$

从以上对外圆车刀的几何角度的介绍可知, 通过每一条切削刃上的选定点, 都可以建立一个主剖面参考系, 而在每一参考系中都可以有四个基本角度, 即前角、后角、刃倾角和偏角。外圆车刀的基本刀刃是主切削刃和副切削刃, 共有八个角度, 但副前角和副刃倾角不是独立变量, 因此外圆车刀的基本角度是六个, 即前角 γ_o 、后角 α_o 、刃倾角 λ_o 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 和副后角 α'_o 。它们都是独立的变量, 对切削过程各有自己的作用和影响, 必须根据具体切削条件选择合理的数值, 并在刀具工作图中标出。而非独立的派生角度, 如楔角 β_o 、刀尖角 ε_r 等, 在刀具图中不必标注, 如图 1-7 所示。

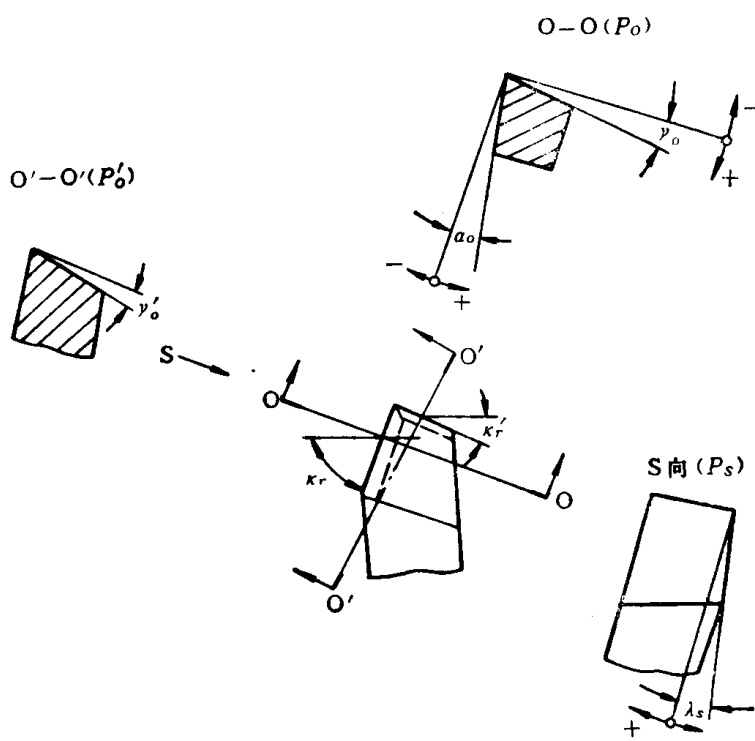


图1-7 车刀的标注角度

二、车刀工作角度及其计算

以上所讲的是在假定运动条件和装夹条件下的刀具静态角度, 如考虑刀具与工件相对运动情况和刀具的实际装夹情况, 则刀具的参考系将发生变化。按照切削工作的实际情况建立的参考系中所确定的角度, 称为工作角度。

一般情况下, 工作角度和静态角度相差不多。在大多数的场合下, 如普通车削、镗孔等不必进行工作角度的计算。但在某些场合下, 如铲齿、车大导程螺纹、车凸轮等进给量较大时, 两者相差较多, 此时应考虑工作角度的合理数值。

1. 切削刃上选定点高低所引起的角度变化 如图 1-8 a 所示, 以 $\kappa_r = 90^\circ$ 外圆车刀为例, 当切削刃上某选定点高于工件轴线时, 切削平面将变为 $P_{..}$ (称为工作切削平面), 基面

⊖ 换算公式

$$\operatorname{tg} \lambda'_s = \operatorname{tg} \gamma_o \sin(\kappa_r + \kappa'_r) - \operatorname{tg} \lambda_o \cos(\kappa_r + \kappa'_r)$$

$$\operatorname{tg} \gamma'_o = \operatorname{tg} \gamma_o \cos(\kappa_r + \kappa'_r) + \operatorname{tg} \lambda_o \sin(\kappa_r + \kappa'_r)$$

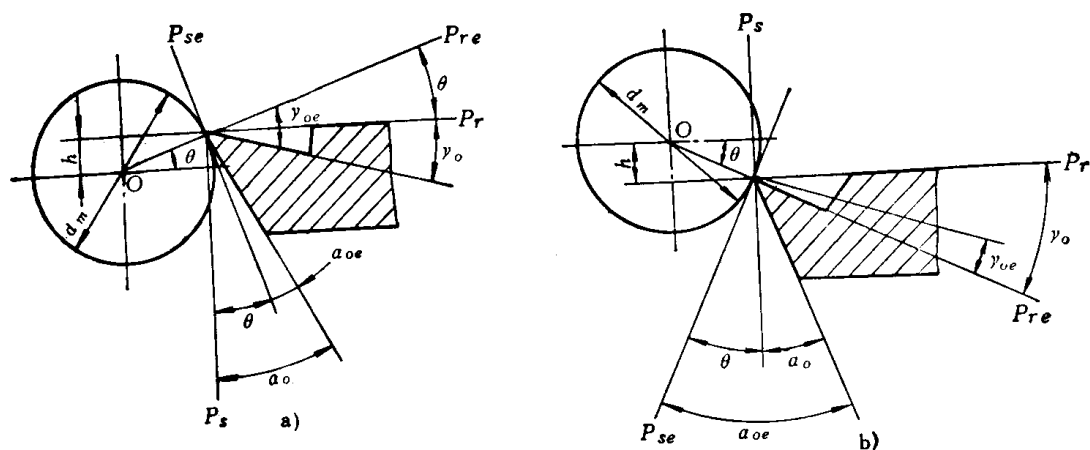


图1-8 切削刃上选定点高低对工作角度的影响

变为 P_{re} (称为工作基面), 前角变为 γ_{oe} (称为工作前角), 后角变为 α_{oe} (称为工作后角), 角度的变化值为 θ 。

如 P_r 、 P_s 表示车刀静态时的基面和切削平面, γ_o 、 α_o 和 γ_{oe} 、 α_{oe} 分别表示静态与工作时的前、后角, 则:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \theta \quad (1-4)$$

工作前角较静态前角增大, 工作后角较静态后角减小。

当切削刃上某选定点低于工件轴线时, 上述计算公式符号相反; 车孔时计算公式同车削外圆时相反, 如图 1-8 b 和图 1-9 所示。其角度变化值可由下式计算:

$$\sin \theta = \frac{2h}{d_m} \quad (1-5)$$

式中 h ——切削刃上某选定点高于或低于工件轴线的数值 (mm);

d_m ——工件直径 (mm)。

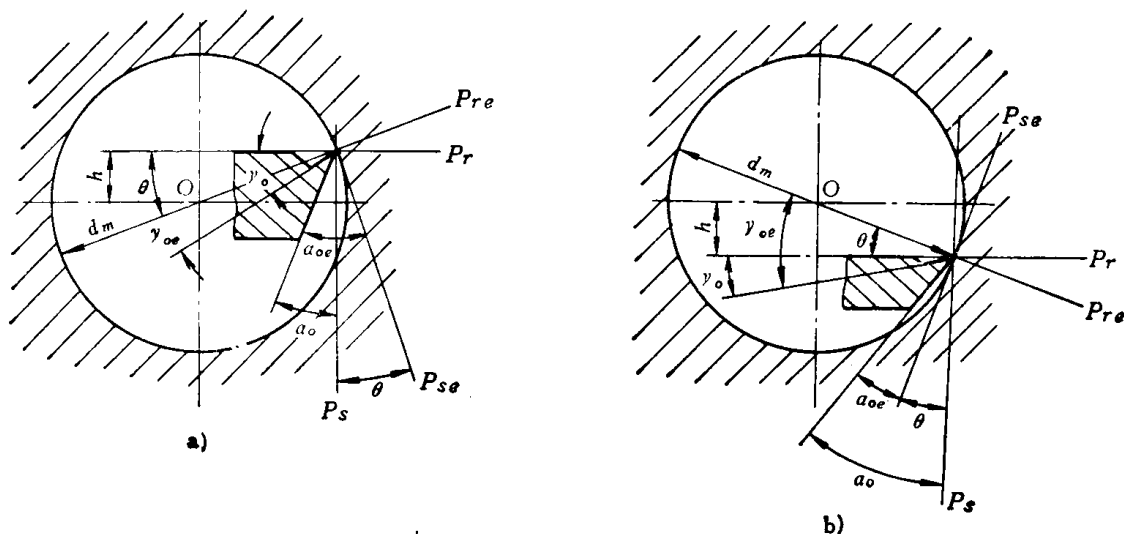


图1-9 车孔时切削刃上某选定点高低对工作角度的影响

当使用 $\kappa_r \neq 90^\circ$ 的刀具时, 要计算工作前、后角仍可用公式 (1-4)。

2. 进给运动所引起的角度变化 车削时, 除工件旋转外, 车刀还须作直线进给运动, 这两个运动合成为螺旋运动。

(1) 横向车削 以切断车刀为例,如图 1-10 所示,在横向切削时,车刀按一定的进给量进给,切削刃上某选定点相对于工件的运动轨迹为一平面阿基米德螺旋线。刀具愈近中心或进给量愈大时,螺旋线愈倾斜,跟螺旋面始终相切的切削平面的位置也随之变化(转动了 η 角)。因此,车刀工作角度前角 γ_{oe} 增大,后角 α_{oe} 减小。

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-6)$$

(2) 纵向车削 由于车刀切削刃上某选定点在工件上的运动轨迹是一条螺旋线,工作中基面和切削平面发生了变化(转动了 η 角),引起了工作角度的变化,如图 1-11 所示:

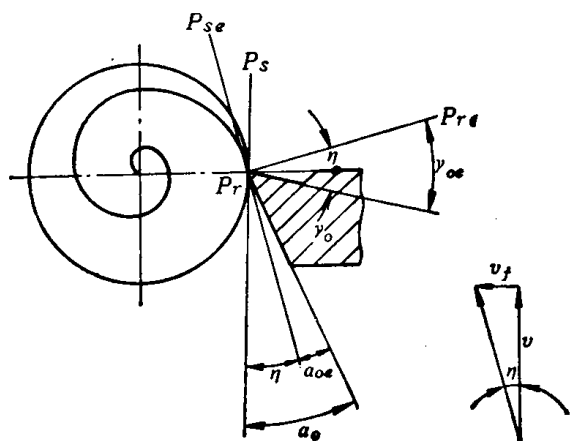


图 1-10 横向进给运动对工作角度的影响

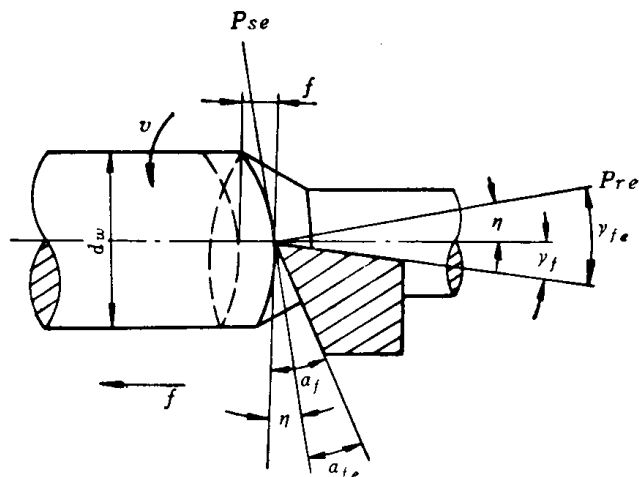


图 1-11 纵向进给运动对工作角度的影响

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta \quad \alpha_{fe} = \alpha_f - \eta \quad (1-7)$$

显然, η 即为螺旋升角, 所以:

$$\tan \eta = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-8)$$

式中 f ——进给量;

d_w ——工件待加工表面直径。

由上式可知, η 值不仅与进给量有关,同时也与工件直径有关;工件直径越小,角度变化值越大。实际上,一般外圆车削的 η 值不超过 $30' \sim 40'$, 因此可以忽略不计。但在车螺纹,尤其是车导程较大螺纹时, η 的数值很大,在刃磨刀具时,应考虑它对工作角度的影响。

3. 刀杆偏斜所引起的角度变化 车刀刀杆与进给方向不垂直时,主偏角 κ_{re} 和副偏角 κ'_{re} 将发生变化,如图 1-12 所示。

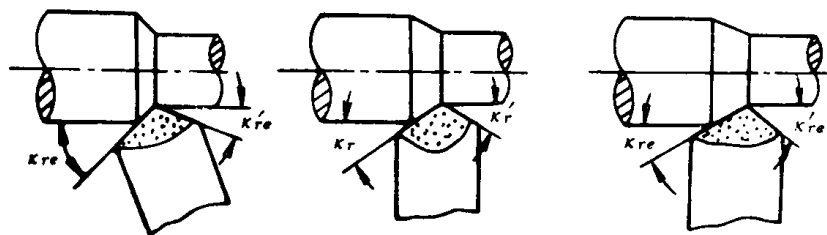


图 1-12 刀杆偏斜对车刀角度的影响

对一般车刀来说,车刀装夹偏斜的影响还不大。但对螺纹车刀、切断车刀或精车刀的影响就比较大。螺纹车刀如装夹不正,就会引起螺纹牙型半角误差;切断刀装夹不正,会使工件的切断面出现凹凸不平,甚至使刀具折断;精车刀装夹不正,会影响工件的表面粗糙度。

车削圆锥面时,车刀应装夹得跟圆锥母线垂直,否则主、副偏角也会发生变化,如图

1-13所示。

4. 工件形状所引起的角度变化 加工凸轮轴类零件时, 由于切削表面为非圆柱面, 所以工件在旋转过程中, 引起刀具切削平面的变化, 因此车刀的前、后角也随之而变化, 如图1-14所示。

三、切削要素

切削要素分为两大类: 切削用量要素和切削层横剖面要素。

1. 切削用量要素 切削用量是衡量切削运动大小的参数, 在切削过程中, 需要针对不同的工件材料、刀具材料和其他技术要求选定适宜的切削速度、进给量和切削深度值。切削速度、进给量和切削深度总称为切削用量。

(1) 切削速度 v 切削加工时, 刀具切削刃上某一点相对于待加工表面在主运动方向上的瞬时速度称为切削速度。可以理解为车刀在一分钟内车削工件表面的理论展开直线长度 (假定切屑没有变形或收缩), 如图 1-15 所示。它是衡量主运动大小的参数 (单位: m/min)。

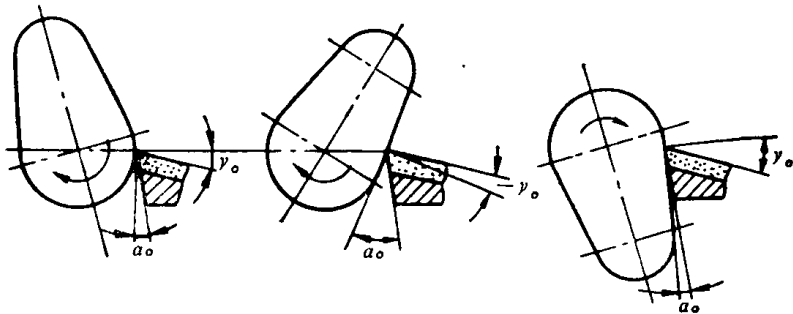


图1-14 工件形状对角度的影响

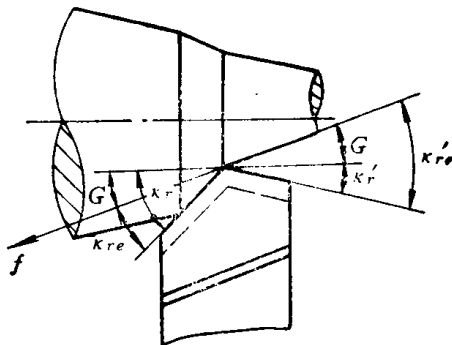


图1-13 车削圆锥面时主、副偏角的变化

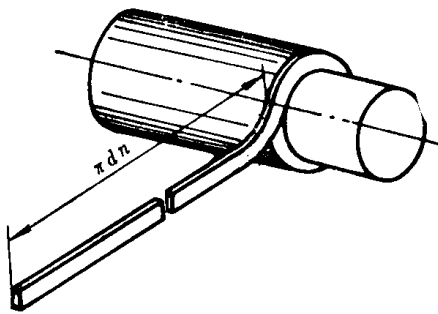


图1-15 切削速度示意图

切削速度的计算公式为:

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-9)$$

式中 d ——工件直径 (mm);

n ——工件转速或车床主轴转速 (r/min)。

在转速 n 值一定时, 切削刃上各点的切削速度不同。在计算时应取最大的切削速度。如车外圆时应以工件待加工表面直径 ($d_{\text{外}}$) 代入公式 (1-9) 计算。车内孔时应以工件已加工表面直径 ($d_{\text{内}}$) 代入公式 (1-9) 计算。

例 1 车削直径 $d = 60\text{mm}$ 的工件外圆, 车床主轴转速 $n = 600 \text{ r}/\text{min}$, 求切削速度。

解 根据公式 (1-9)

$$v = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{3.14 \times 60 \times 600}{1000} = 113 \text{ m}/\text{min}$$

在实际生产中, 往往是已知工件直径, 并根据工件材料、刀具材料和加工性质等因素选定切削速度。再将切削速度换算成车床主轴转速, 以便调整机床, 这时可把公式 (1-9) 改写成:

$$n = \frac{1000 v}{\pi d} \quad (1-10)$$

例 2 车削直径 $d = 260\text{mm}$ 的带轮外圆, 选择切削速度 $v = 60\text{m/min}$, 求车床主轴转速。

解 根据公式 (1-10)

$$n = \frac{1000 v}{\pi d} = \frac{1000 \times 60}{3.14 \times 260} \approx 74 \text{ r/min}$$

计算所得车床主轴转速, 若和车床转速铭牌上所列的转速有出入, 应选取铭牌上和计算值接近的转速。

(2) 进给量 f 进给量是工件每回转一周, 车刀沿进给运动方向上的相对位移, 单位是 mm/r , 如图 1-16 a 所示。它是衡量进给运动大小的参数。

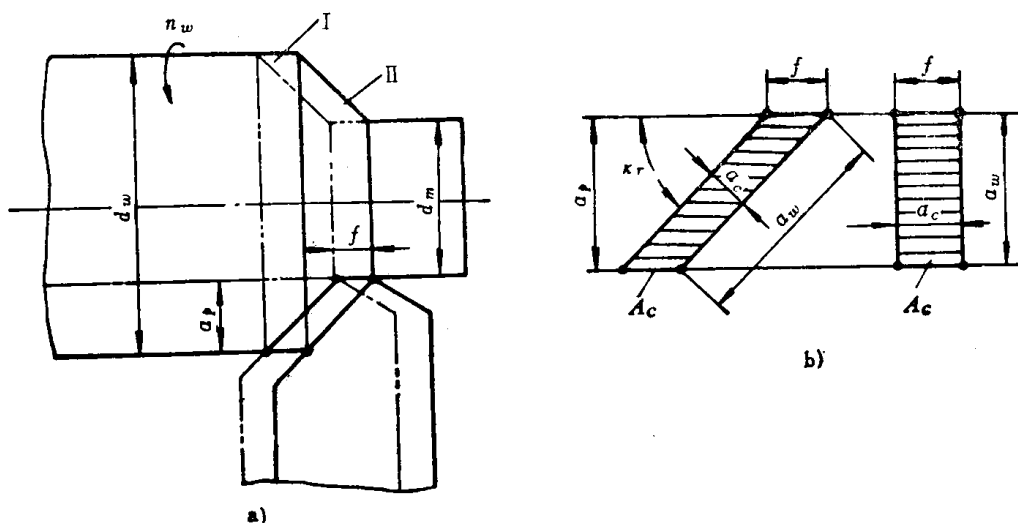


图1-16 切削要素

进给量分纵进给量和横进给量两种:

纵进给量——沿车床床身导轨方向的进给量。

横进给量——垂直于车床床身导轨方向的进给量。

(3) 切削深度 a_p 切削深度即每次进给时车刀切入工件的深度, 就车内、外圆柱面及端面而言是工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离, 如图 1-16 a 所示, 单位是 mm 。切削深度 a_p 可按下式计算:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-11)$$

对于钻孔工作

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1-12)$$

式中 d_m ——已加工表面直径 (mm);

d_w ——待加工表面直径 (mm)。

2. 切削层横剖面要素 切削层是指工件每转一转, 主切削刃相邻两个位置 (I、II) 间的一层金属。切削层被工件轴向剖面切开所得到的剖面称为切削层横剖面。主切削刃为直线的车刀, 且 $\lambda_s = 0$ 时, 切削层横剖面是一个平行四边形; 在特殊情况下 ($\kappa_r = 90^\circ$) 为矩

形, 其底边尺寸是 f , 高为 a_p , 如图 1-16 b 所示。

(1) 切削厚度 垂直于加工表面度量的切削层尺寸, 称为切削厚度, 以 a_c 表示, 单位为 mm, 如图 1-16 b 所示。当 $\lambda_s = 0$ 时:

$$a_c = f \sin \kappa_r \quad (1-13)$$

切削厚度 a_c 的大小, 可以反映主切削刃单位长度上的工作量, 对切削层的变形、断屑、切削阻力、刀具磨损和工件表面质量等均有显著影响。

(2) 切削宽度 沿加工表面度量的切削层尺寸, 称为切削宽度, 以 a_w 表示, 单位为 mm, 如图 1-16 b 所示。当 $\lambda_s = 0$ 时:

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-14)$$

切削宽度 a_w 的大小, 直接表示主切削刃参加工作的长度。在一定条件下, 增加主切削刃的工作长度能提高生产率。

(3) 切削面积 切削层在基面内的面积称为切削面积, 以 A_c 表示, 单位为 mm^2 , 如图 1-16 所示。其计算公式为:

$$A_c = a_c a_w = f a_p \quad (1-15)$$

切削面积的大小由 f 、 a_p 决定, 而其形状则与刀刃形状、 κ_r 角大小有关, 可用切削厚度 a_c 和切削宽度 a_w 来表示。同样的切削面积 A_c , 不同的 a_c 与 a_w , 将对切削过程有着不同的影响。

第二节 切削过程的基本规律

金属切削过程是指使用刀具切除工件上一层多余的金属, 从切屑形成到已加工表面形成的全过程。在切削过程中, 会出现变形、切削阻力、切削热、刀具磨损以及不同的加工表面质量等一系列物理现象; 在生产实践中出现的许多问题, 如鳞刺、积屑瘤、振动、卷屑与断屑等都同切削过程有关。尤其是在现代化技术装备中, 难加工材料的应用越来越多, 对零件的质量要求越来越高; 同时, 切削加工自动化以及计算机在机械制造中的应用, 这些都要求我们更好地掌握金属切削过程的规律, 以创造更加先进的切削方法和高质量的刀具, 保证加工质量, 降低生产成本, 提高生产率。因此, 了解金属切削过程的基本规律, 具有十分重要的意义。

一、切削变形

金属切削的实质是: 被切削金属层在刀具的推挤、剪切作用下产生弹性变形和塑性变形, 并跟工件本体分离的过程。在这个过程中, 金属材料对切削的反作用, 主要取决于材料本身反抗变形的能力 (对于塑性金属, 主要是塑性变形抗力)。被切削金属的塑性变形不仅影响切削阻力的大小和功率消耗, 而且是产生切削热、刀具磨损、已加工表面硬化等现象的主要根源。因此, 在了解金属切削过程本质时, 必须对金属的塑性变形规律和材料的机械性能有所了解。

1. 金属的机械性能 所谓机械性能, 是指金属材料在外力作用时所表现出来的抵抗能力, 包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳极限等。

(1) 变形和强度 金属材料在外力作用下产生变形, 当外力去除后, 所产生的变形可以完全消除, 使材料恢复原来形状, 这种变形叫做弹性变形。如图 1-17 所示, 图中 oa 阶段的

变形即为弹性变形。

材料产生弹性变形时的最大应力（相当于图 1-17 中 a 点所对应的应力值）叫做比例极限。

当材料所承受的应力超过比例极限时，在外力消除后变形不能完全消除，这种不能复原的变形叫做塑性变形，如图 1-17 所示的 ab 阶段。

材料在外力作用下，当应力超过比例极限达到一定值（相当于图 1-17 中 b 点所对应的应力值）时，虽外力不增大，但变形会迅速增大，也就是材料失去了抵抗变形的能力，这种现象叫做“屈服”，如图 1-17 所示的 bc 阶段，使材料产生屈服现象的应力，叫做屈服点。

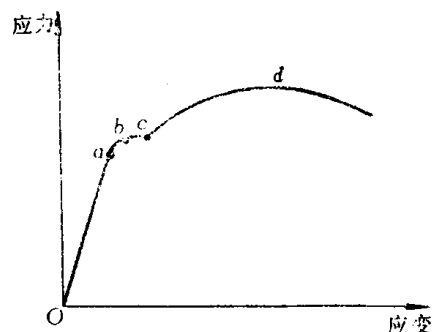


图 1-17 低碳钢拉伸应力-应变图

当应力超过屈服强度后，材料会产生较大的塑性变形，即材料失去正常状态，这也可以叫做“破坏”，所以，往往将屈服点做为衡量材料机械性能的重要指标。

在屈服阶段的塑性变形增加到一定值之后，材料又有了抵抗继续变形的能力，即只有外力增大时，塑性变形才继续增大。当塑性变形增大到一定程度后，材料就会产生断裂。材料在外力作用下出现断裂前达到的最大应力值（相当于图 1-17 中 d 点所对应的应力值）叫做“强度极限”。强度极限越大，材料抵抗断裂的能力越大。

（2）硬度 硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入表面的能力。对机械零件常要求有一定的硬度，以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。

硬度能间接反映抗拉强度的大小。一般说，抗拉强度大的材料硬度高，耐磨性也较好。

（3）冲击韧性 冲击韧性是金属材料抵抗冲击弯曲破坏的能力。

金属切削刀具与机械零件一样，在工作过程中承受着不同的冲击载荷，其破坏的可能性要比静载荷大得多。但生产实践证明，在冲击载荷下工作的机械零件和工具，很少是受一次大能量的冲击而破坏的，往往是受小能量多次往复冲击而破坏。在冲击载荷不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要取决于材料的强度。

2. 切屑形成过程和切屑种类

（1）切屑的形成过程 在切削过程中，被切削金属层，在刀具的切割和挤压作用下产生剪切滑移，最后脱离工件而形成切屑。

切削过程中金属材料的变形大致发生在如下三个区域内，如图 1-18 所示。

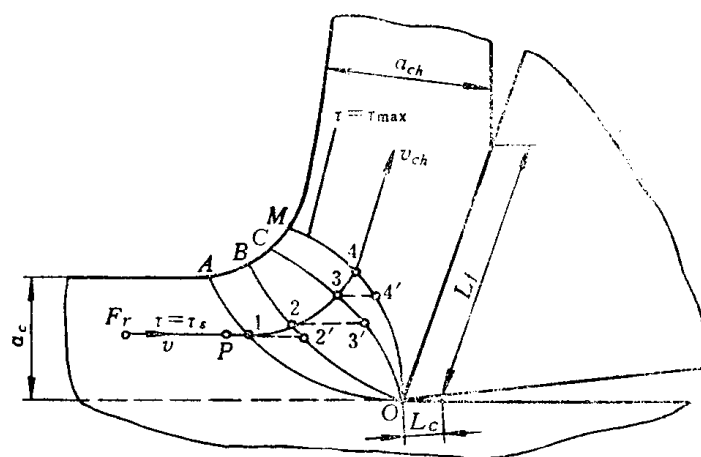


图 1-18 切屑的形成过程

⊖ 应力是试样单位面积上的作用力。

⊖ 应变是试样单位长度上的变形量。

第一变形区——又称剪切区，由始剪切面线 OA 和终剪切面线 OM 包络的 OAM 区域，在这一区域内，被切削层的塑性变形、剪切滑移基本完成；

第二变形区——又称摩擦变形区 L_f ，是前刀面与切屑的接触区域；

第三变形区——又称加工表面变形区 L_c ，是后刀面与工件的接触区域。

在第一变形区，当被切削金属层接近始剪切面 OA 时，发生弹性变形，进入始剪切面 OA 后，将发生塑性变形。塑性变形的表现形式是在外力作用下，金属晶粒产生不能恢复原状的滑移。如当切削层中某点 P 到达点1的位置时，由于 OA 面上的剪应力达到材料的屈服强度，则点 P 在继续沿切削速度 v 的方向移动的同时，还要沿 OA 方向滑移变形，其合成运动将使 P 点由点1位置移动到点2位置， $2'-2$ 即为此时滑移量。与此类似， P 点将继续沿2、3、4……方向移动，随着滑移量不断增加，剪应力也逐渐增大，在终剪切面 OM 上剪应力最大。在 OM 之后塑性变形超过金属的强度极限，被切削金属层就断裂下来形成切屑。

实际上，在一般的切削速度范围内，始剪切面 OA 和终剪切面 OM 相距很近（0.02~0.2mm），说明切屑是在一瞬间完成剪切滑移的。

在第二变形区，当被切削金属层经过剪切区变成切屑后，在沿前刀面流出过程中将受到前刀面的挤压与摩擦。因此，在该区域内金属变形的特点就是切屑在前刀面上发生的摩擦变形，而这个变形主要集中在与前刀面接触的切屑底部一薄层金属内（图1-18的 L_f 一段长度内），由于切屑底层受前刀面的挤压而膨胀，使切屑背向前刀面卷曲，最后在某一点开始与前刀面脱离接触。

在整个切屑厚度范围内，越靠近切屑的上层，第二变形区的影响越小，所以当切屑厚度较大时，其在切屑内所影响比例也相对小些。

第三变形区直接影响工件加工表面的质量及刀具的磨损。在该区域内，工件已加工表面受到后刀面的挤压及摩擦拉伸，发生变形。其结果使已加工表面的硬度提高，产生加工硬化现象及残留应力，严重时甚至出现细微的裂缝。

由于加工材料的性质不同，切削的条件不同，滑移变形的程度有很大的差异，产生的切屑无论从形态、尺寸、颜色以至硬度都有很大差别。

（2）切屑的种类 从切屑形成过程分析，可分为以下四种类型，如图1-19所示。

1) 带状切屑 带状切屑是最常见的一种切屑。切屑为连绵不断的带状或螺旋状，它与前刀面接触的底面比较光洁，上表面无明显的裂纹，呈毛茸状。一般加工塑性金属材料（如软钢、铝等）、切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时，在终剪切面上的剪应力未达到工件材料的强度极限，得到的往往是这类切屑。它的切削过程比较平稳，切削阻力波动小，已加工表面的表面粗糙度值较小。但在高速连续切削时需采取断屑措施，以方便操作和保障人身安全。

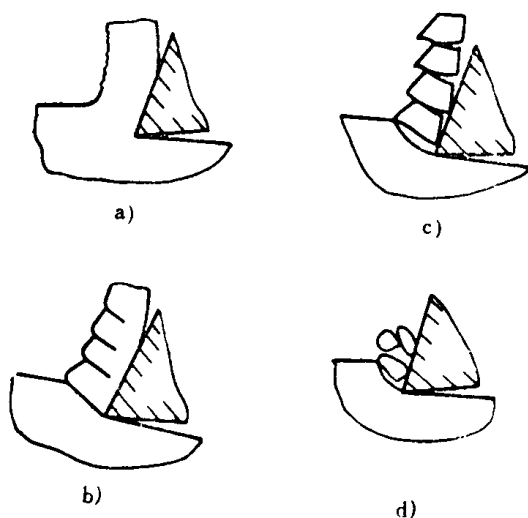


图1-19 切屑类型

- a) 带状切屑 b) 节状切屑
c) 粒状切屑 d) 崩碎切屑