

金属加工刀具 及其应用

王永国 编著



金属加工刀具及其应用

王永国 编著

机械工业出版社

前 言

中国已经连续6年机床消费第一，2010年中国机床消费超过日本、德国和美国三国之和；2010年中国汽车产销量双双突破1800万辆，连续两年居全球第一。中国具有金属加工刀具世界第一的市场，先进制造工艺和刀具在中国具有广阔的发展空间。目前中国很多企业购买了大量国外先进机床及国产先进机床，但与此对应的是企业对刀具在制造过程中的作用重视程度不够，造成先进的机床没有得到充分的利用，在一定程度上限制了企业的发展。

近年来大学教育在向通识教育、素质教育转变，使得高校学生对先进制造工艺与刀具技术方面知识的掌握不足，造成了高校毕业生在先进制造工艺与刀具技术方面知识的严重缺乏。另一方面，由于目前缺乏系统介绍最新金属加工刀具及其应用方面的书籍，也影响了企业相关技术人员自学先进制造工艺与刀具方面的知识。

本书针对机床刀具及其用户企业的相关技术人员，以及对先进制造工艺与刀具技术感兴趣的在校大学生，在介绍切削理论的同时，着重系统介绍目前先进金属加工刀具及其应用，加入了相关最新产品图片，可帮助读者更直观全面地了解金属加工刀具及其应用。

本书在系统介绍各种金属加工刀具的同时，重点介绍了世界知名刀具公司的产品。因此，在本书编写过程中，除了参考了书后所列正式出版的文献资料外，还参考了世界知名刀具公司的产品样本及其他技术资料。这些资料包括：Sandvik Coromant 技术指南、Sandvik Coromant Corokey、Sandvik Coromant 车削刀具、Sandvik Coromant 旋转刀具、SECO 产品样本、LMT 产品样本、MAPAL 产品样本等。

在本书编写的过程中，得到了上海大学机电工程与自动化学院卓越工程师计划及机械工业出版社的大力支持；哈尔滨量具刃具集团有限责任公司孟广达高级工程师提供了刀柄方面相关资料，欧瑞康巴尔查斯涂层（苏州）有限公司金敏先生提供了相关涂层资料，成都工具研究所的赵炳桢老师对本书的编写提出了诸多宝贵意见；同时也参考并引用了有关教材和文献的资料和插图；研究生刘彪和田彪参与了本书的资料收集工作，研究生颜香平和孙长余也对本书的编写提供了极大的帮助，在此一并表示感谢。

IV 金属加工刀具及其应用

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者不吝指正。

王永国

目 录

前言

第1章 金属切削基础 1

1.1 金属切削原理 1

1.1.1 切削运动与切削层 参数 1

1.1.2 刀具切削部分的几 何角度 2

1.2 金属切削的基本规律 5

1.2.1 切削变形 5

1.2.2 切削力 9

1.2.3 切削温度 11

1.3 刀具的磨损、使用寿命及切削 用量的制定 12

1.3.1 刀具的磨损 12

1.3.2 刀具寿命 15

1.3.3 切削用量的制定 16

第2章 刀具材料 18

2.1 概述 18

2.1.1 刀具材料应具备的 性能 18

2.1.2 切削刀具与加工对 象的相关性能匹配 19

2.2 高速钢 21

2.2.1 高速钢的特点 21

2.2.2 常用高速钢材料的 分类及应用 22

2.3 硬质合金 23

2.3.1 硬质合金的特点 23

2.3.2 硬质合金的分类及 应用 24

2.4 金属陶瓷 25

2.4.1 金属陶瓷的特点 25

2.4.2 金属陶瓷的种类及

应用 25

2.5 陶瓷 26

2.5.1 陶瓷刀具的特点 27

2.5.2 陶瓷刀具材料的分 类和应用 27

2.6 金刚石 28

2.6.1 金刚石的特点 28

2.6.2 金刚石的种类 29

2.6.3 金刚石刀具的应用 30

2.7 立方氮化硼 31

第3章 刀具涂层 32

3.1 刀具涂层的性能 32

3.2 刀具的涂层材料及分类 32

3.2.1 刀具的涂层材料 32

3.2.2 刀具涂层的分类 34

3.2.3 涂层刀具的重磨和 重涂 36

3.3 CVD 和 PVD 技术 36

3.3.1 CVD 技术 36

3.3.2 PVD 技术 37

3.3.3 PVD 与 CVD 的性能 比较 38

3.4 非金属化合物超硬涂层 40

3.4.1 金刚石薄膜涂层 40

3.4.2 立方氮化硼薄膜涂层 40

3.4.3 氮化碳涂层 41

第4章 车刀 42

4.1 车削加工 42

4.2 车刀的分类 42

4.3 焊接式硬质合金车刀 43

4.3.1 硬质合金刀片型号 及选用 44

4.3.2 刀槽的形式及参数

VI 金属加工刀具及其应用

确定	44	5.4.9 车铣复合铣刀	64
4.4 可转位车刀	44	5.4.10 其他铣刀	64
4.4.1 可转位车刀的几何 参数	44	第6章 钻头	66
4.4.2 可转位车刀刀杆型 号表示规则	45	6.1 孔加工	66
4.4.3 可转位刀具的典型 夹紧结构	46	6.1.1 孔加工的方法及特点	66
4.4.4 可转位刀片	47	6.1.2 孔加工过程中的考虑 因素	66
4.4.5 可转位车刀的使用	50	6.1.3 不同钻孔直径和长径 比对应的钻削刀具	68
4.5 PCBN 与 PCD 车刀	50	6.2 整体式普通型钻头	68
4.5.1 PCBN 刀片	51	6.2.1 麻花钻	68
4.5.2 PCBN 车刀应用	51	6.2.2 硬质合金钻头	70
4.5.3 PCD 刀片	52	6.2.3 钻削加工的注意事项	72
4.5.4 PCD 车刀应用	52	6.3 可转位刀片钻头	74
4.6 成形车刀	53	6.3.1 硬质合金可转位刀片 钻头的结构及参数	74
4.6.1 成形车刀的种类	54	6.3.2 可转位刀片钻头的应 用	75
4.6.2 成形车刀前后角的 形成及其选择	54	6.4 深孔加工刀具	76
4.6.3 成形车刀的装夹与 刃磨	55	6.4.1 枪钻	77
第5章 铣刀	56	6.4.2 喷吸钻	78
5.1 铣削加工	56	6.4.3 其他深孔钻	79
5.2 铣削要素	57	6.5 扩孔钻、铤钻、阶梯钻、 套料钻	80
5.2.1 铣削用量	57	6.5.1 扩孔钻	80
5.2.2 铣削层要素	57	6.5.2 铤钻	81
5.3 铣削加工的基本方式	58	6.5.3 阶梯倒角钻	82
5.3.1 圆周铣削	58	6.5.4 套孔钻	82
5.3.2 端面铣削	59	第7章 镗刀、铰刀和复合 刀具	83
5.4 常用的铣刀类型	59	7.1 镗削与镗刀	83
5.4.1 圆柱形铣刀	59	7.1.1 镗削	83
5.4.2 立铣刀	60	7.1.2 镗刀	84
5.4.3 键槽铣刀	61	7.2 铰削与铰刀	87
5.4.4 三面刃铣刀	61	7.2.1 铰削	87
5.4.5 角度铣刀	62	7.2.2 铰刀	87
5.4.6 插铣刀	62	7.3 复合刀具	91
5.4.7 面铣刀	63	7.3.1 复合刀具的种类和	
5.4.8 仿形铣刀	63		

特点	91	10.1 切削液	127
7.3.2 复合刀具的应用	92	10.1.1 切削液的分类	127
7.3.3 复合刀具切削过程 特征	92	10.1.2 切削液的作用	127
7.3.4 复合刀具的设计原 则	93	10.1.3 切削液的添加剂	128
第8章 其他加工刀具	95	10.1.4 切削液的选用	129
8.1 螺纹刀具	95	10.2 冷却润滑技术	130
8.1.1 丝锥	96	10.2.1 湿式切削	130
8.1.2 其他螺纹刀具	99	10.2.2 全干式切削	131
8.2 切齿刀具	101	10.2.3 准干式切削	131
8.2.1 成形法切齿刀具	101	第11章 机械加工工艺流程的 设计	133
8.2.2 展成法切齿刀具	102	11.1 制定工艺规程的步骤和 方法	133
8.3 拉刀	106	11.1.1 机械加工过程和 工艺规程	133
8.3.1 拉削加工的特点及 方式	106	11.1.2 机械加工规程设 计原则	133
8.3.2 拉削刀具	108	11.1.3 制定机械加工工艺规 程所需原始资料	133
8.3.3 拉刀的合理使用	110	11.1.4 机械加工规程设 计步骤	133
8.4 砂轮	111	11.2 定位基准的选择	134
8.4.1 砂轮的组成要素	111	11.2.1 定位基准	134
8.4.2 砂轮的形状、尺寸和 标志	113	11.2.2 粗基准的选择	135
8.4.3 砂轮的安装和修整	114	11.2.3 精基准的选择	135
第9章 刀柄种类及应用	116	11.3 加工路线的拟订	136
9.1 按刀柄柄部分类	116	11.3.1 加工方法的选择	136
9.1.1 常用7:24刀柄	116	11.3.2 加工工序的安排	138
9.1.2 HSK刀柄	119	11.3.3 工序集中与工序 分散	139
9.1.3 其他刀柄系统	120	11.3.4 加工阶段的划分	140
9.2 按刀柄夹持刀具分类	122	11.3.5 数控加工工艺	140
9.2.1 三爪夹头	122	11.4 工序尺寸的确定	144
9.2.2 ER弹簧夹头	122	11.4.1 加工余量	144
9.2.3 削平型直柄夹头	123	11.4.2 最小加工余量	145
9.2.4 强力镗铣夹头	123	11.4.3 工序尺寸确定	146
9.2.5 液压夹头	123	11.5 工艺尺寸链	146
9.2.6 热装夹头	124	11.6 工艺过程经济性分析	148
9.2.7 其他夹紧机构	125		
第10章 切削加工冷却润滑 技术	127		

11.6.1	时间定额与提高生产率 的途径	148	13.4	数控加工编程	179
11.6.2	工艺方案技术经济 分析	149	13.4.1	数控编程的方法及 步骤	179
第 12 章 典型零件加工工艺		151	13.4.2	数控机床的坐标系 统	179
12.1	轴类零件的加工	151	13.4.3	数控机床的程序结 构与内容	180
12.1.1	概述	151	13.4.4	切削加工中的阶段 划分	181
12.1.2	曲轴加工工艺	152	13.4.5	典型实例分析	182
12.1.3	轴类零件检验	155	附录		184
12.2	箱体类零件的加工	156	附录 A	本书中主要的术语、 定义和符号	184
12.2.1	概述	156	附录 B	与切削有关的重要公 式	187
12.2.2	缸盖加工工艺	157	附录 C	车削常见问题及解决 方案	189
12.3	套筒类零件的加工	166	附录 D	铣削常见问题及解决 方案	193
第 13 章 高速高效加工		170	附录 E	硬质合金钻头的常见 问题及解决方案	200
13.1	高速高效加工概述	170	附录 F	镗削常见问题及解决 方案	201
13.1.1	高速加工的概念及 分类	170	附录 G	铰削常见问题及解决 方案	203
13.1.2	高速加工的产生和 发展	171	参考文献		205
13.1.3	高速加工的特点	171			
13.1.4	高效加工	173			
13.2	高速加工理论基础及 应用	173			
13.2.1	高速加工的理论 基础	173			
13.2.2	高速加工的应用	174			
13.3	高速加工机床	176			

第 1 章 金属切削基础

1.1 金属切削原理

1.1.1 切削运动与切削层参数

1. 切削运动

在切削加工中刀具与工件的相对运动称为切削运动。切削时，通常切削运动按其所起的作用可分为两种：主运动和进给运动，如图 1-1 所示。

(1) 主运动 使工件与刀具产生相对运动而进行切削的最基本的运动称为主运动。切削过程中主运动速度最高、消耗功率最多。主运动的速度即为切削速度，用 v_c 表示，单位是 m/min 或 m/s ，如车削外圆时工件的旋转运动，钻孔或镗孔时刀具的旋转运动。主运动由刀具或工件来完成，其形式可以是旋转运动或直线运动，但每种切削加工方法的主运动只有一个。

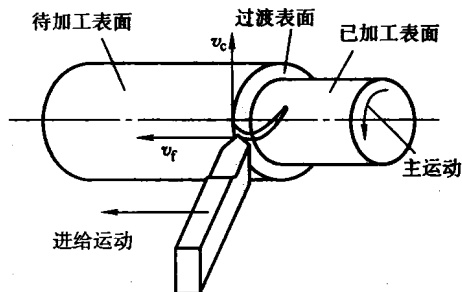


图 1-1 外圆车削的切削运动

(2) 进给运动 使主运动能够连续切除工件上多余的金属以形成工件表面所需的运动称为进给运动。进给运动的速度和消耗的功率都要比主运动小得多。进给速度用 v_f 表示，单位是 mm/min 或 mm/s ，如车削外圆时车刀的纵向连续直线进给运动，钻孔或镗孔时刀具的直线进给运动。进给运动可能不止一个，由工件或刀具来实现，其运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合，也可以是连续的或是间歇的运动。

进行切削时，主运动与进给运动同时进行。这时，刀具切削刃上一点相对于工件的合成运动称为合成切削运动，用合成切削运动速度 v_s 表示。

$$v_s = v_f + v_c \text{ (矢量相加)}$$

由于 $v_c = \pi dn/1000$ ，切削刃上各点速度 v_c 不等，由此可推出合成切削速度 v_s 在各点上的大小和方向也不相等。对于外圆车刀来讲，直径 d 大的地方合成速度 v_s 也大。

2. 工件上的几个表面

在切削过程中，工件有三个不断变化的表面，如图 1-1 所示。

2 金属加工刀具及其应用

- 1) 待加工表面——即将被切除的表面。
- 2) 过渡表面——切削刃正在切削的表面。
- 3) 已加工表面——切削后形成的新表面。

3. 切削层参数

切削时,沿进给运动方向移动一个进给量所切除的金属层称为切削层。切削层参数是指切削层在基面 P_r 内所截得的截面形状和尺寸,即在切削层公称横截面中度量。

(1) 切削层公称厚度 h_D 在主切削刃选定点的基面内,垂直于过渡表面的切削层尺寸,称为切削层公称厚度。图 1-2 切削层截面的切削厚度为

$$h_D = f \sin \kappa_r$$

κ_r 为刀具主偏角,即刀具主切削刃与进给方向的夹角。根据上式可以看出,进给量 f 或刀具主偏角 κ_r 增大,切削层厚度 h_D 增大。

(2) 切削层公称宽度 b_D 在主切削刃选定点的基面内,沿过渡层表面度量的切削层尺寸,称为切削层公称宽度。切削层截面的公称切削宽度为

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

由上式可以看出,当切削深度 a_p 增大或者主偏角 κ_r 减小时,切削层公称宽度 b_D 增大。

(3) 切削层公称横截面积 A_D 在主切削刃选定点的基面内切削层的截面面积,称为切削层公称横截面积。切削层公称横截面为

$$A_D = h_D b_D = f a_p$$

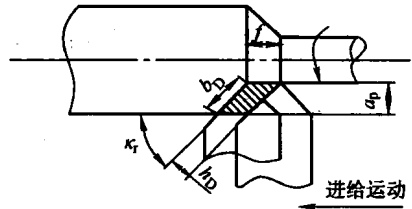


图 1-2 切削层参数

1.1.2 刀具切削部分的几何角度

切削刀具的种类繁多,形状各异。但从切削部分的几何特征上看,却具有共性。外圆车刀切削部分的基本形态可作为其他各类刀具的切削部分的基本形态。其他各类刀具是在这个基本形态上演变出各自的特点,所以本节以外车刀切削为例,给出刀具几何参数方面的有关定义。

1. 车刀切削部分的组成

车刀由刀杆和刀头组成,也就是刀体和切削部分。刀体用于安装,切削部分用于进行切削加工。图 1-3 为车刀切削部分的组成图。

- 1) 前面(或前刀面) (A_f) ——切屑流经的刀面。
- 2) 主后面(或主后刀面) (A_a) ——与过渡表面相对的刀面。
- 3) 副后面(或副后刀面) (A'_a) ——与已加工表面相对的刀面。

4) 主切削刃 (S) ——前面与主后面的交线, 担负主要的切削工作, 也称主切削刃或主刀刃。

5) 副切削刃 (S') ——前面与副后面的交线, 配合切削刃完成切削工作, 并形成已加工表面, 也称副刀刃。

6) 刀尖——主副切削刃的交点, 它可以是一个点、直线或圆弧。

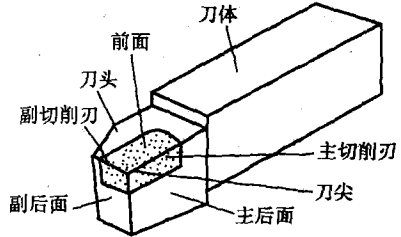


图 1-3 车刀切削部分的组成

由此可看出: 外圆车刀切削部分的特点是“321”, 即3面2刃1尖。

2. 刀具标注角度参考系

刀具要从工件上切下金属, 就必须使它具备一定的切削角度, 也正是由于这些角度才决定了刀具切削部分各表面的空间位置。为了确定切削部分各刀面在空间的位置, 要人为的建立基准坐标系。要建立坐标系, 首先应建立坐标平面。以这些坐标平面为基准建立坐标系, 这些平面称为基准坐标平面。

(1) 正交平面参考系 ($P_r-P_s-P_o$) 对于切削刃上某一选定点, 该点的基面 P_r 、切削平面 P_s 、正交平面 P_o 构成了一个两两互相垂直的空间直角坐标系, 称为正交平面参考系 (见图 1-4)。

基面 (P_r) ——过切削刃上的选定点, 垂直于切削主运动方向的平面。

切削平面 (P_s) ——过切削刃上的选定点所作切削刃切线与该点的切削速度 v_c 所组成的平面。

正交平面 (P_o) ——过切削刃上选定点, 同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 。

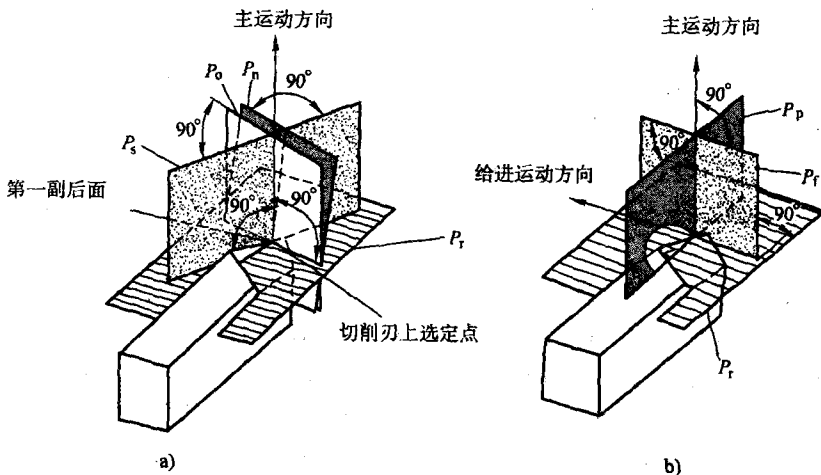


图 1-4 刀具静止参考系的平面

a) 正交平面参考系和法平面参考系 b) 背平面和假定平面参考系

4 金属加工刀具及其应用

的平面。

在正交平面参考系中的刀具标注角度如图 1-5 所示。

在基面 P_r 内度量的角度（俯视图，让刀具投影到基面上）如下：

主偏角 κ_r ——在基面 P_r 内，切削刃与进给运动方向间的夹角。

副偏角 κ'_r ——在基面 P_r 内，副切削刃与进给运动反方向间的夹角。

刀尖角 ε_r —— $\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ ，是派生角。

在切削平面 P_s 内度量的角度（刀具在切削平面 P_s 内投影）如下：

刃倾角 λ_s ——在切削平面 P_s 内，切削刃与基面 P_r 间的夹角。刃倾角 λ_s 正负的判定：以刀尖点为基准点，刀尖点是刀刃的最高点，则刃倾角 λ_s 为正；刀尖点是刀刃的最低点，则刃倾角 λ_s 为负；刀刃与基面重合或平行，则刃倾角 λ_s 为零。

在正交平面 P_o 内度量的角度（ $O-O$ 剖面 P_o 内）如下：

前角 γ_o ——在正交平面 P_o 内，前面与基面 P_r 之间的夹角；前角 γ_o 的正负的判定：前面高于基面 P_r 时为负；前面低于基面 P_r 时为正；前面与基面 P_r 重合时为零。

后角 α_o ——在正交平面 P_o 内，后刀面与切削平面 P_s 间的夹角。

楔角 β_o ——在正交平面 P_o 内，前、后刀面间的夹角， $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$ ；是一个派生角。

副后角 α'_o ——在副正交平面 P'_o 内，副后刀面与副切削平面 P'_s 间的夹角。

对于一把外圆车刀，在正交平面系中要表达的有：

6 个独立的角度：主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r （在基面 P_r 内）；刃倾角 λ_s （在切削平面 P_s 内）；前角 γ_o 、后角 α_o （在正交平面 P_o 内）；副后角 α'_o （在正交平面 P'_o 内）。

2 个派生角：刀尖角 ε_r （在基面 P_r 内）；楔角 β_o （在正交平面 P_o 内）。

(2) 法平面参考系 ($P_r-P_s-P_n$) 对于切削刃上选定点，该点的法平面 P_n 、基面 P_r 和切削平面 P_s 就构成了法平面参考系（见图 1-4a）。在法平面参考系中， $P_n \perp P_r$ ， $P_n \perp P_s$ ，但 P_n 不垂直于 P_r （在刃倾角 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 的条件下）。

法平面 P_n ——过切削刃上选定点，垂直于切削刃或其切线的平面。

在法平面 P_n 内测量的角度如下：

法前角 γ_n ——前面与基面 P_r 间的夹角，其正负判别方法与前角 γ_o 相同。

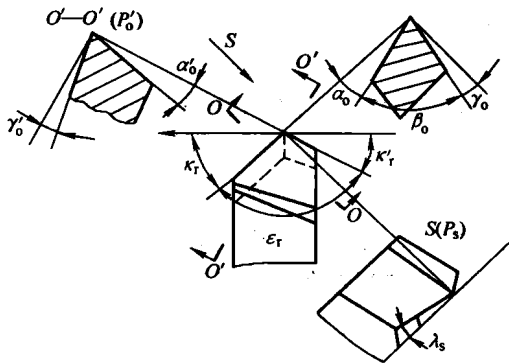


图 1-5 外圆车刀在正交平面参考系的角度

法后角 α_n ——主后面与切削平面 P_s 间的夹角。

法平面 P_n 与正交平面 P_o 间的夹角为刃倾角 λ_s ，当 $\lambda_s = 0$ 时，法平面 P_n 与正交平面 P_o 重合。

(3) 假定工作平面和背平面参考系 ($P_r-P_f-P_p$) 对于切削刃上某一选定点，该点的假定工作（进给）平面 P_f 、背（切深）平面 P_p 和基面 P_r 就构成了假定工作平面和背平面参考系（见图 1-4b）。

假定工作（进给）平面 P_f ——过主切削刃上选定点，同时垂直于刀杆中心线与基面 P_r 的平面，它与进给速度 v_f 平行。

背（切深）平面 P_p ——过主切削刃上选定点，平行于刀杆中心线并垂直于基面 P_r 的平面，它与进给速度 v_f 垂直。

3. 小结

车刀是结构最简单，也最具代表性的刀具，其他的刀具均可看成是车刀的变形。车刀由刀杆和切削部分组成。车刀的主要几何要素可归纳为 3 面 2 刃 1 尖。

我国主要采用正交平面坐标系，即在图样上标注 κ_r 、 κ'_r 、 γ_o 、 α_o 、 α'_o 和 λ_s 6 个角度，有时应补充标注 γ_n 、 α_n 。

确定刀具几何角度的步骤为：以切削刃为单元，定出切削刃上选定点，判定出选定点的主运动方向和进给运动方向，作出基面和切削平面，选取测量平面以建立参考系，从而确定其相应的角度。

1.2 金属切削的基本规律

1.2.1 切削变形

1. 金属切削过程的变形区

金属切削过程的实质是指金属切削层在刀具挤压作用下产生塑性剪切滑移变形的过程。为了研究方便，通常把金属切削过程的变形划分为三个区（见图 1-6）。

(1) 第一变形区 由曲线 AO 、 MO 、 AM 包围的区域是塑性剪切滑移区，称为第一变形区。用 I 表示。第一变形区是金属切削过程中主要的变形区，消耗大部分功率并产生大量的热量。始滑移面 (OA) 与终滑

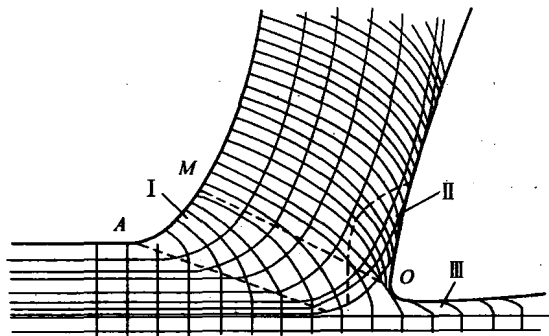


图 1-6 金属切削过程中的滑移线和流线图

6 金属加工刀具及其应用

移面 (OM) 二者距离很小 ($0.02 \sim 0.2\text{mm}$)，且随着切削速度的加快距离越来越近。

(2) 第二变形区 金属切削层经过第一变形区后绝大部分开始成为切屑，切屑沿前刀面流出，由于受刀具前面挤压和摩擦的作用，切屑将继续发生强烈的变形，这个变形区域称为第二变形区，用Ⅱ表示。该变形区的特点为：靠近刀具前面的切屑底层附近纤维化，切屑流动速度缓慢，甚至滞留在刀具前面上；切屑发生弯曲变形；由摩擦产生的热量使刀屑接触面附近温度升高。第二变形区的变形直接关系到刀具的磨损，也会影响第一变形区的变形大小。

(3) 第三变形区 当金属进入第一变形区，发生了塑性剪切滑移变形，而在切削刃钝圆部分，这种变形更加复杂，更加激烈。切削层在刃口钝圆 O 点处分离为两部分， O 点以上的部分成为切屑沿前刀面流出， O 点以下部分绕过切削刃沿刀具后面流出，成为已加工表面。

由于钝圆半径的存在，在整个切削厚度中， O 点以下的那一层金属切削层，不能沿 OM 方向剪切滑移，只能受钝圆的挤压，不断受到挤压摩擦，产生塑性变形，这个变形区域称为第三变形区，用Ⅲ表示。第三变形区的变形，会造成已加工表面的加工硬化和产生残余应力，对已加工表面的质量有很大的影响。

2. 切屑类型

金属切削过程中，由于工件材料和切削条件的不同，切削产生的切屑可分为四种类型（见图 1-7）。

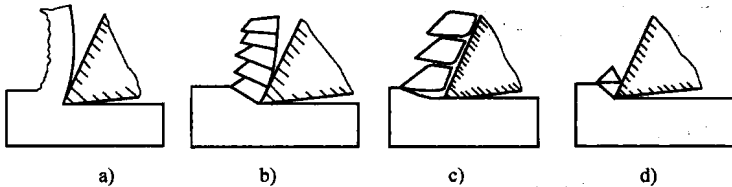


图 1-7 切削的类型

a) 带状切屑 b) 节状切屑 c) 粒状切屑 d) 崩碎切屑

(1) 带状切屑（见图 1-7a）切屑连续呈较长的带状，底面光滑，背面无明显裂纹，呈微小锯齿状。其特点：较常见，切削力波动小，切削过程较平稳，加工表面质量较好。

(2) 节状切屑（见图 1-7b）切屑背面有时有较深的裂纹，呈较大锯齿形。其特点：切削力波动较大，切削过程不太平稳，加工表面质量较差。

(3) 粒状切屑（见图 1-7c）切屑裂纹贯穿整个切屑断面，切屑成梯形粒状。其特点：较少见，切削力波动大，切削过程不平稳，加工表面质量差。

以上三种切屑是在切削塑性金属材料时才能产生的。切屑形态由粒状切屑→

节状切屑→带状切屑相互转换的切削条件是：增大刀具前角；增大切削速度；减小进给量。

(4) 崩碎切屑（见图 1-7d）切屑呈不规则的碎块状，切削脆性金属材料时产生的。切削过程不太平稳，易损坏刀具，加工表面较粗糙。减小进给量，减小刀具主偏角，适当提高切削速度可使崩碎切屑转为片状或针状切屑，切削过程中的不良现象可得到改善。

3. 切削变形程度的度量方法

金属切削过程中，切削层转变为切屑，形状变化为长度缩短，厚度增大，宽度变化极小，根据材料变形前后体积不变，可用变形系数 ξ 来度量切削变形的大小。

$$\xi = \frac{l}{l_c} = \frac{h_{ch}}{h_D}$$

式中 l ——切削层长度；

l_c ——切屑长度；

h_{ch} ——切屑厚度；

h_D ——切削层厚度。

变形系数 ξ 总是大于 1， ξ 越大，切削变形越大，工件材料塑性越大。

4. 积屑瘤

在一定的切削速度范围内切削塑性金属材料时，往往会在刀具切削刃及刀具部分前面上粘结堆积一楔状或鼻状的高硬度金属块，称为积屑瘤（见图 1-8）。

积屑瘤在生长的过程中，一直受到工件材料与切屑的挤压摩擦、切削的冲击振动、切削温度升高等因素的作用和影响，因此积屑瘤会随时破碎、脱落、消失。积屑瘤不断生长的过程也是不断破碎、脱落、消失的过程。

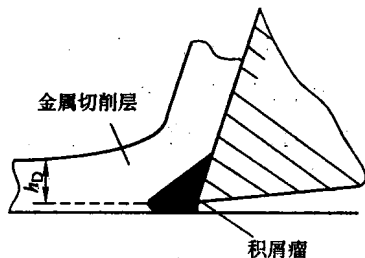


图 1-8 积屑流示意图

(1) 积屑瘤对切削过程的影响

1) 增大刀具前角。积屑瘤使刀具实际工作前角增大，减小切削变形和切削力。

2) 代替刀具切削刃。积屑瘤是由受了剧烈塑性变形而强化的被切材料堆积而成，其硬度是工件材料硬度的 2~3 倍，它可代替刀具切削刃进行切削。

3) 对刀具寿命的影响。积屑瘤包围着刀具切削刃和刀具前面，从而减小刀具磨损，提高了刀具寿命。但是积屑瘤的生长是一个不稳定的过程，积屑瘤随时会发生破碎、脱落，脱落的碎片会粘走刀面上的金属材料，或者严重擦伤刀面，使刀具寿命下降。

4) 增大切削厚度。积屑瘤前端伸出切削刃外，导致切削厚度增大。

8 金属加工刀具及其应用

5) 降低工件表面质量。由于积屑瘤的外形不规则,使被切削工件表面不平整,又由于积屑瘤不断地破碎、脱落,脱落的碎片使工件表面粗糙,产生缺陷。

(2) 控制积屑瘤的措施

1) 降低工件材料的塑性,可减小刀—屑之间的摩擦因数,减少粘结,抑制积屑瘤的生长。

2) 控制切削速度,避开产生积屑瘤的切削速度。

3) 增大刀具前角可减小切削变形和切削温度,从而可抑制积屑瘤的生长。

4) 合理使用切削液既可减少切削摩擦,又可降低切削温度,从而使积屑瘤的生长得到控制。

5. 鳞刺

鳞刺是在已加工表面上呈鳞片状有裂口的毛刺。切削金属塑性材料时,若切削速度较低时,常常会产生鳞刺。鳞刺使已加工表面质量下降,表面粗糙度值增大,鳞刺的形成过程可分为四个阶段(见图1-9)。

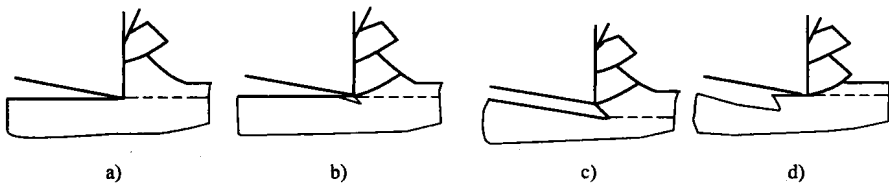


图1-9 鳞刺的形成过程

a) 抹拭阶段 b) 开裂阶段 c) 层积阶段 d) 刮成阶段

(1) 抹拭阶段 金属切削加工时,切屑沿着刀具前面流出,逐渐擦净刀具前面上的润滑膜,使切屑与刀具前面之间的摩擦因数逐渐增大,当增大到一定值时使切屑在刀具前面作短暂的停留。

(2) 开裂阶段 由于停留的切屑代替刀具前面推挤切削层,导致切削区产生裂口。

(3) 层积阶段 随着推挤切削层的继续,裂口继续增大,同时切削力也在增大。

(4) 刮成阶段 当切削力增大到一定值时,切屑能克服前面的摩擦粘结,切屑又开始沿刀具前面流出,一个鳞刺就这样刮成了。

控制鳞刺的措施如下:

1) 在低的切削速度时,减小进给量,增大刀具前角,采用润滑性能好的切削液,可抑制鳞刺的形成;

2) 在高的切削速度时,工件材料经调质处理,减小刀具前角,可抑制鳞刺的形成。高速切削时,切削温度在 500°C 以上,不会产生鳞刺。

6. 影响切削变形的主要因素

(1) 工件材料 工件材料强度越大, 则变形系数越小, 切削变形也越小, 工件材料塑性越大, 则变形系数越大。

(2) 刀具前角 刀具前角越大, 则变形系数越小。

(3) 切削速度 切削塑性金属材料时, 切削速度对切削变形的影响呈波浪形。开始时, 切削速度低, 切削变形量大, 随着切削速度的增大, 切削变形量逐渐减小。

(4) 进给量 进给量增大, 则切削厚度增大, 切削变形减小, 变形系数减小。

1.2.2 切削力

1. 切削力的产生

刀具在切削过程中克服加工阻力所需的力, 称为切削力。切削力主要由以下几个方面产生:

- 1) 克服被加工材料对弹性变形的抗力。
- 2) 克服被加工材料对塑性变形的抗力。
- 3) 克服切屑对刀具前刀面的摩擦力和后刀面对过渡表面及已加工表面间的摩擦力。

2. 切削合力及分力

作用在刀具上的各个力的总和形成对刀具的总的合力, 如图 1-10 所示。对这合力 F 又可以分解为三个垂直方向的分力 F_f 、 F_p 、 F_c 。

1) 进给力 F_f 也称轴向力或走刀力, 是总合力在进给方向的分力。它是设计走刀机构、计算车刀进给功率的依据。

2) 背向力 F_p 也称径向力或吃刀力, 是总合力在垂直工作平面方向的分力。此力的反力使工件发生弯曲变形, 影响工件的加工精度, 并在切削过程中产生振动。它是计算机床零件、车刀强度和析工件变形、径向精度的依据。

3) 切削力 F_c 也称切向力, 是总合力在主运动方向上的分力。它是计算车刀强度、设计机床零件、确定机床功率的依据。

由图 1-10 可知, 总合力为

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_D^2}$$

F_D 为总合力在切削层尺寸平面上的投影, 是进给力 F_f 与背向力 F_p 的合力,

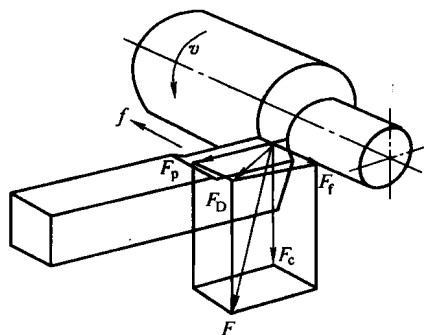


图 1-10 切削合力及分解