

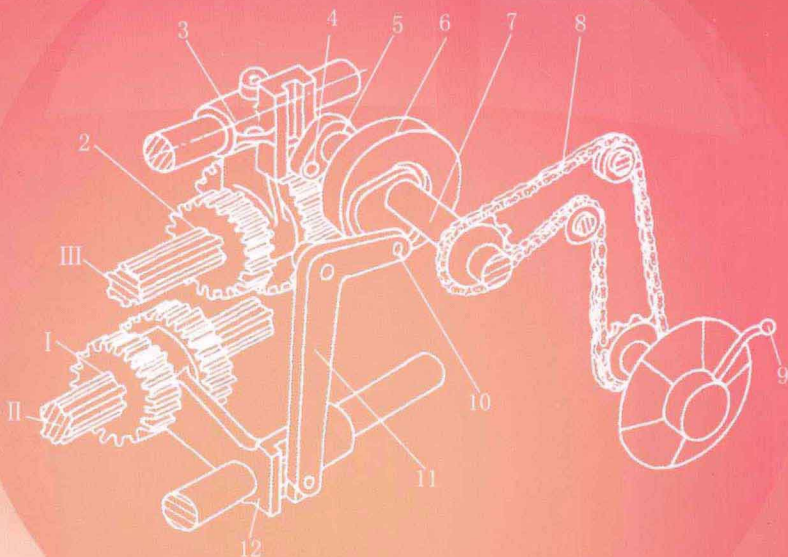


普通高等教育“十二五”规划教材

# 机械制造技术

JIXIE ZHIZAO JISHU

● 赵艳红 张景耀 主编 ● 张海华 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 机械制造技术

赵艳红 张景耀 主 编  
张海华 副主编



化学工业出版社

本书以机械制造工艺方法为主线，将与之有关的金属切削理论、机床、刀具、夹具等有关内容进行了优化整合。全书共5章，内容包括金属切削原理与刀具、金属切削方法与设备、机床夹具设计、机械加工质量分析与控制、工艺规程设计等。书中以实际案例进行讲述，注重分析、解决实际生产问题的能力培养，图文并茂，实用性强。

本书可作为应用型本科院校以及高职高专院校机械类和近机类专业教材使用，也可供相应专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术/赵艳红, 张景耀主编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-18003-2

I. ①机… II. ①赵…②张… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 165052 号

---

责任编辑: 韩庆利

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 宋 玮

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 348 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

“机械制造技术”是机械类相关专业的一门重要专业基础课。本书以机械制造工艺方法为主线，并将与之有关的金属切削理论、机床、刀具、夹具等有关内容进行了优化整合。从金属切削原理的认识加工方法的认识，再到工艺系统的构成、机械制造质量分析与控制、工艺规程设计、装配工艺规程设计，都进行了系统的阐述。以实际案例讲述，使学生能综合运用机床、刀具、夹具等工艺装备，掌握机械加工工艺方法，培养他们分析和解决实际生产问题的能力。

本书在内容的把握上，尽量避免理论过深、专业性太强以及与实际应用关系不大的内容，加强了实用性内容。在编写过程中注重基本理论在实际生产中的应用及运用理论知识解决实际问题能力的培养。

本书与生产实际联系密切，只有具备较多的实践知识，才能在学习时理解得深入透彻。因此，在学习过程中要注意实践知识的学习和积累。此外，对内容的掌握，需要实习、课程设计、实验及课后联系等多种教学环节的配合，每一个环节都是重要的、不可缺少的，学习时应该予以注意。建议在使用本书前，学生已经过金工实习实践环节，并在课程开始前或进行中安排认识实习或到工厂生产现场参观。由于本书配有大量的图表，需要大量的现场知识，建议采用现代化的教学手段与教学方法。

本书适用于应用型本科以及高职高专机械类和近机类专业教学使用，也可供相应专业的工程技术人员参考。

本书由沈阳理工大学赵艳红和张景耀任主编，沈阳理工大学应用技术学院张海华任副主编，沈阳理工大学张薇任参编。第1章由赵艳红、张薇编写，第2章由张海华、张薇编写，第3章由张海华编写，第4章由张景耀编写，第5章由赵艳红编写。全书由赵艳红统稿、定稿。

本书有配套电子课件，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如有需要，可发邮件至 [hq1book@126.com](mailto:hq1book@126.com) 索取。

限于编者水平，书中难免有缺点和不当之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

# 目 录

第 1 章 金属切削原理与刀具 .....	1
1.1 刀具的结构 .....	1
1.2 刀具材料 .....	6
1.3 金属切削过程及其物理现象 .....	9
1.4 切削力与切削功率 .....	13
1.5 切削热和切削温度 .....	17
1.6 刀具磨损与刀具寿命 .....	21
1.7 刀具几何角度的合理选择 .....	25
1.8 切削用量的选择及工件材料加工性 .....	28
习题与思考题 .....	31
第 2 章 金属切削加工方法与设备 .....	32
2.1 金属切削机床的基础知识 .....	32
2.2 车削加工方法 .....	39
2.3 铣削加工方法 .....	50
2.4 磨削加工方法 .....	57
2.5 孔加工方法 .....	66
2.6 刨、拉削加工方法 .....	74
2.7 齿轮加工 .....	79
习题与思考题 .....	89
第 3 章 机床夹具设计 .....	91
3.1 概述 .....	91
3.2 工件的定位 .....	93
3.3 工件的夹紧 .....	105
3.4 机床夹具应满足的基本要求和设计步骤 .....	110
习题与思考题 .....	112
第 4 章 机械制造质量分析与控制 .....	114
4.1 机械加工精度 .....	114
4.2 工艺过程的统计分析 .....	137
4.3 机械加工表面质量 .....	150
习题与思考题 .....	157
第 5 章 工艺规程设计 .....	160
5.1 概述 .....	160

5.2 零件的工艺分析 .....	165
5.3 毛坯的选择 .....	166
5.4 机械加工工艺规程设计 .....	169
5.5 加工余量与工序尺寸 .....	179
5.6 工艺尺寸链 .....	182
5.7 工艺卡片的填写 .....	189
5.8 机器装配工艺规程设计 .....	193
5.9 机械产品设计的工艺性评价 .....	204
习题与思考题 .....	209
<b>参考文献</b> .....	<b>212</b>

# 第 1 章

# 金属切削原理与刀具

## 导读

金属切削过程是刀具与工件相互作用的过程，在此过程中，为了能将工件上多余的金属材料切除掉，对刀具的结构及其材料需提出相应的要求。本章主要介绍切削运动、切削用量、刀具的结构、材料以及切削过程的基本现象。学习完本章后，应重点掌握刀具几何角度的标注，积屑瘤现象、作用及其控制时应采取的措施；能根据生产条件和工艺要求，合理选择刀具切削部分的材料、刀具角度、切削液及切削用量。学习本章应注意理论与生产实际相结合。

## 1.1 刀具的结构

### 1.1.1 切削运动与切削要素

#### 1. 切削运动

金属切削加工是利用刀具切去工件毛坯上多余的金属层（加工余量），以获得具有一定的尺寸、形状、位置精度和表面质量的机械加工方法。刀具的切削作用是通过刀具相对工件之间的相互作用和相对运动来实现的。

刀具与工件间的相对运动称为切削运动，即表面成形运动。切削运动可分解为主运动和进给运动。

(1) 主运动是切下切屑所需的最基本的运动

在切削运动中，主运动的速度最高、消耗的功率最大。主运动只有一个。如车削时工件的旋转运动、铣削时铣刀的旋转运动。

(2) 进给运动是多余材料不断被投入切削，从而加工出完整表面所需的运动

进给运动可以有一个或几个。如车削时车刀的纵向或横向运动。

一般，切削运动及其方向用切削运动的速度矢量来表示。如图 1-1 所示为车刀进行外圆车削时的切削运动，主运动切削速度  $v_c$ 、进给速度  $v_f$  和切削运动速度  $v_e$  之间关系为

$$v_e = v_c + v_f \quad (1-1)$$

#### 2. 切削要素

在切削过程中，工件上通常存在着 3 个不断变化的表面，如图 1-1 所示。

已加工表面：工件上已切去切屑的表面。

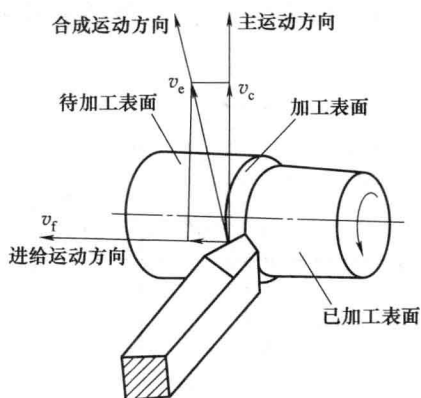


图 1-1 切削运动与切削表面

待加工表面：工件上即将被切去切屑的表面。

加工表面（过渡表面）：工件上正在被切削的表面。

切削要素包括切削用量和切削层的几何参数。

(1) 切削用量

切削用量是切削时各运动参数的总称，包括切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）三要素，它们是调整机床运动的依据。

① 切削速度  $v_c$  在单位时间内，工件和刀具沿主运动方向的相对位移，单位为 m/s。若主运动为旋转运动，则计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000 \times 60} \quad (1-2)$$

式中  $d_w$ ——工件待加工表面或刀具的最大直径，mm；

$n$ ——工件或刀具每分钟转数，r/min。

主运动为往复直线运动（如刨削），则常用其平均速度作为切削速度  $v_c$  (m/s)，即

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} \quad (1-3)$$

式中  $L$ ——往复直线运动的行程长度，mm；

$n_r$ ——主运动每分钟的往复次数，次/min。

② 进给量  $f$  在主运动每转一转或每一行程时（或单位时间内），刀具与工件之间沿进给运动方向的相对位移，单位是 mm/r（用于车削、镗削等）或 mm/行程（用于刨削、磨削等）。进给运动速度还可以用进给速度  $v_f$ （单位是 mm/s）或每齿进给量  $f_z$ （用于铣刀、铰刀等多刃刀具，单位为 mm/z）表示。一般

$$v_f = nf = nzf_z \quad (1-4)$$

式中  $n$ ——主运动的转速，r/s；

$z$ ——刀具齿数。

③ 背吃刀量（切削深度） $a_p$  待加工表面与已加工表面之间的垂直距离（mm）。车削外圆时为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-5)$$

式中  $d_w, d_m$ ——分别为待加工表面和已加工表面的直径，mm。

(2) 切削层几何参数

切削层是指工件上正被切削刃切削的一层金属，亦即相邻两个加工表面之间的一层金属。以车削外圆为例（如图 1-2 所示），切削层是指工件每转一转，刀具从工件上切下的那一层金属。切削层的大小反映了切削刃所承载荷的大小，直接影响到加工质量、生产率和刀具的磨损等。

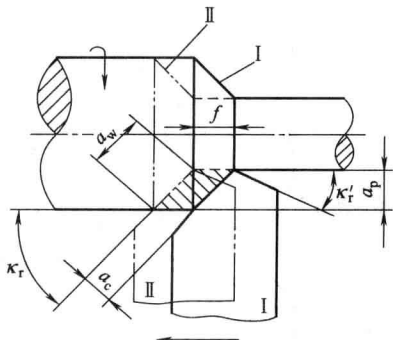


图 1-2 切削用量与切削层参数

① 切削宽度  $a_w$  沿主切削刃方向度量的切削层尺寸（mm）。车外圆时

$$a_w = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1-6)$$

式中  $\kappa_r$ ——切削刃和工件轴线之间的夹角。

② 切削厚度  $a_c$  两相邻加工表面间的垂直距离（mm）。车外圆时  $a_c = f \sin \kappa_r$ 。



③ 切削面积  $A_c$ 。切削层垂直于切削速度截面内的面积 ( $\text{mm}^2$ )。车外圆时

$$A_c = a_w a_c = a_p f \quad (1-7)$$

## 1.1.2 刀具角度

### 1. 刀具切削部分的组成

切削刀具的种类很多,结构也多种多样,下面以外圆车刀为例,外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具,如图 1-3 所示。其切削部分(又称刀头)由前面、主后面、副后面、主切削刃、副切削刃和刀尖所组成。

其定义分别为:

(1) 前面(前刀面) 刀具上与切屑接触并相互作用的表面。

(2) 主后面(主后刀面) 刀具上与工件过渡表面(参见图 1-1 及图 1-3)接触并相互作用的表面。

(3) 副后面(副后刀面) 刀具上与工件已加工表面(参见图 1-1 及图 1-3)接触并相互作用的表面。

(4) 主切削刃 前刀面与主后刀面的交线,它完成主要的切削工作。

(5) 副切削刃 前刀面与副后刀面的交线,它配合主切削刃完成切削工作,并最终形成已加工表面。

(6) 刀尖 连接主切削刃和副切削刃的一段切削刃,它可以是小的直线段或圆弧。其他各类刀具,如刨刀、钻头、铣刀等,都可看作是车刀的演变和组合。如图 1-4 所示,刨刀切削部分的形状与车刀相同[图 1-4 (a)];钻头可看作是两把一正一反并在一起同时车削孔壁的车刀,因而有两个主切削刃,两个副切削刃,还增加了一个横刃[图 1-4 (b)];铣刀可看作由多把车刀组合而成的复合刀具,其每一个刀齿相当于一把车刀[图 1-4 (c)]。

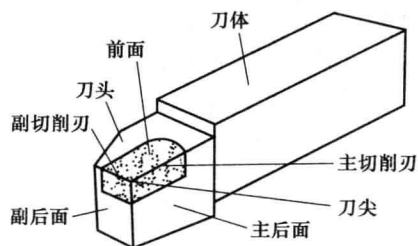


图 1-3 车刀的组成

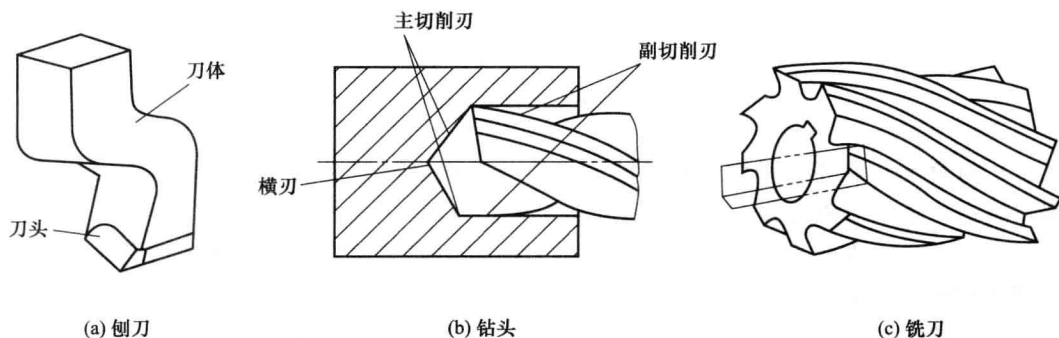


图 1-4 刨刀、钻头、铣刀切削部分的形状

### 2. 刀具角度的参考平面

刀具要从工件上切下金属,必须具有一定的切削角度,也正是由于切削角度才决定了刀具切削部分各表面的空间位置。要确定和测量刀具角度,必须引入三个相互垂直的参考平面,如图 1-5 所示。

(1) 切削平面 通过主切削刃上某一点并与工件加工表面相切的平面。

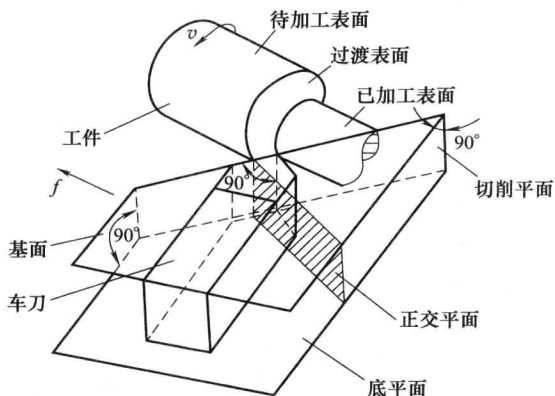


图 1-5 确定车刀角度的参考平面

(2) 基面 通过主切削刃上某一点并与该点切削速度方向相垂直的平面。

(3) 正交平面 通过主切削刃上某一点并与主切削刃在基面上的投影相垂直的平面。

切削平面、基面和正交平面共同组成标注刀具角度的正交平面参考系，常用的标注刀具角度的参考系还有法平面参考系、背平面和假定工作平面参考系。

### 3. 刀具的标注角度

刀具的标注角度是制造和刃磨刀具所必需的、并在刀具设计图上予以标注的角度。刀具的标注角度主要有 5 个，以车刀

为例，如图 1-6 所示，表示了几个角度的定义。

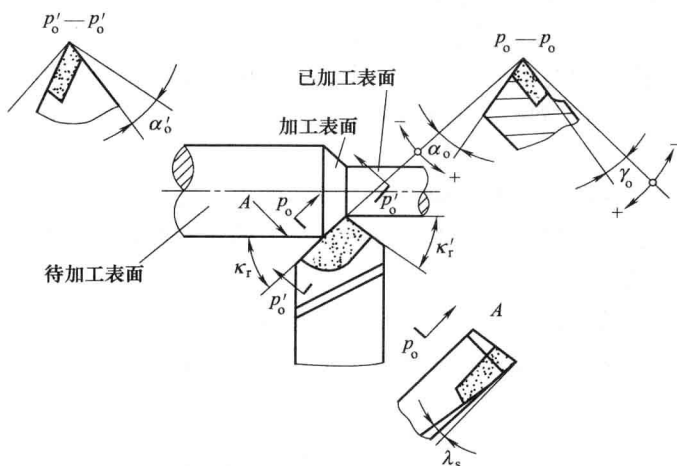


图 1-6 车刀的角度

(1) 前角  $\gamma_0$  在正交平面内测量的前刀面与基面之间的夹角，前角表示前刀面的倾斜程度，有正、负和零值之分，正负规定如图 1-6 所示。

(2) 后角  $\alpha_0$  在正交平面内测量的主后刀面与切削平面之间的夹角，后角表示主后刀面的倾斜程度，一般为正值。

(3) 主偏角  $\kappa_r$  在基面内测量的主切削刃在基面上的投影与进给运动方向的夹角，主偏角一般为正值。

(4) 副偏角  $\kappa'_r$  在基面内测量的副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向的夹角，副偏角一般为正值。

(5) 刃倾角  $\lambda_s$  在切削平面内测量的主切削刃与基面之间的夹角。当主切削刃呈水平时， $\lambda_s = 0$ ；当刀尖为主切削刃上最低点时， $\lambda_s < 0$ ；当刀尖为主切削刃上最高点时， $\lambda_s > 0$ （如图 1-6 所示）。需要说明的是，图 1-6 和图 1-7 的标注角度是在刀尖与工件回转轴线等高、刀杆纵向轴线垂直于进给方向，并且不考虑进给运动的影响等条件下描述的。



(2) 进给运动对工作角度的影响 车削时由于进给运动的存在,使车外圆及车螺纹的加工表面实际上是一个螺旋面;车端面或切断时,加工表面是阿基米德螺旋面(如图 1-10 所示)。因此,实际的切削平面和基面都要偏转一个附加的螺旋升角  $\mu$ ,使车刀的工作前角  $\gamma_{oc}$  增大,工作后角  $\alpha_{oc}$  减小。一般车削时,进给量比工件直径小很多,故螺旋升角  $\mu$  很小,它对车刀工作角度影响不大,可忽略不计。但在车端面、切断和车外圆进给量(或加工螺纹的导程)较大时,则应考虑螺旋升角的影响。

## 1.2 刀具材料

为了完成切削,除了要求刀具具有合理的角度和适当的结构外,刀具的材料是切削的重要基础。在切削过程中,刀具在强切削力和高温下工作,同时与切屑和工件表面都产生剧烈的摩擦,因此工作条件极为恶劣。为使刀具具有良好的切削能力,必须选用合适的材料,刀具材料对加工质量、生产率和加工成本影响极大。

### 1.2.1 刀具材料应具备的性能

刀具材料应满足以下基本要求。

#### 1. 高的硬度

刀具材料的硬度必须高于工件的硬度,以便切入工件,在常温下,刀具材料的硬度一般在 60HRC 以上。

#### 2. 高的耐磨性

即抵抗磨损的能力,一般情况下,刀具材料硬度越高,耐磨性越好。

#### 3. 高的耐热性

指刀具在高温下仍能保持硬度、强度、韧性和耐磨性的能力。

#### 4. 足够的强度和韧性

只有具备足够的强度和韧性,刀具才能承受切削力和切削时产生的振动,以防脆性断裂和崩刃。

#### 5. 良好的工艺性

为便于刀具本身的制造,刀具材料还应具有一定的工艺性能,如切削性能、磨削性能、焊接性能及热处理性能等。

#### 6. 良好的热物理性能和耐热冲击性能

要求刀具的导热性要好,不会因受到大的热冲击,产生刀具内部裂纹而导致刀具断裂。

应该指出,上述要求中有些是相互矛盾的,如硬度越高,耐磨性越好的材料的韧性和抗破损能力就越差,耐热性好的材料韧性也较差。实际工作中,应根据具体的切削对象和条件,选择最合适的刀具材料。

### 1.2.2 常用的刀具材料

在切削加工中常用的刀具材料有:碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、金刚石、立方氮化硼等。各种刀具材料的特性,如表 1-1 所示。

#### 1. 碳素工具钢与合金工具钢

碳素工具钢是含碳量最高的优质钢(碳的质量分数为 0.7%~1.2%),如 T10A。碳素工具钢淬火后具有较高的硬度,而且价格低廉。但这种材料的耐热性较差,当温度达到 200℃

表 1-1 常用刀具材料的特性

种类	牌号	硬度	维持切削性能的最高温度/℃	抗弯强度/GPa	工艺性能	用途
碳素工具钢	T8A T10A T12A	60~64HRC (81~83HRA)	~200	2.45~ 2.75	可冷热加工成形,工艺性能良好,磨削性好,须热处理	只用于手动刀具,如手动丝锥、板牙、铰刀、锯条、锉刀等
合金工具钢	9CrSi CrWMn 等	60~65HRC (81~83HRA)	250~ 300	2.45~ 2.75		只用于手动或低速机动刀具,如丝锥、板牙、拉刀等
高速钢	W18Cr4V W6Mo5Cr4V2AI W10Mo4Cr4V3AI	62~70HRC (82~87HRA)	540~600	2.45~ 4.41	可冷热加工成形,工艺性能良好,须热处理,磨削性好,但高钒类较差	用于各种刀具,特别是形状较复杂的刀具,如钻头、铣刀、拉刀、齿轮刀具、丝锥、板牙、刨刀等
硬质合金	钨钴类: YG3, YG6, YG8 钨钴钛类 YT5, YT15, YT30	89~94HRA	800~1000	0.88~ 2.45	压制烧结后使用,不能冷热加工,多镶片使用,无须热处理	车刀刀头大部分采用硬质合金,铣刀、钻头、滚刀、丝锥等亦可镶刀片使用。钨钴类可加工铸铁,非铁金属;钨钴钛类加工碳素钢、合金钢、淬硬钢等
陶瓷材料		91~94HRA	>1200	0.441~ 0.833		多用于车刀,性脆,适于连续切削
立方氮化硼		7300~9000HV			压制烧结而成,可用金刚石砂轮磨削	用于硬度、强度较高材料的精加工。在空气中达 1300℃ 时仍保持稳定
金刚石		10000HV			用天然金刚石砂轮磨削困难	用于非铁金属的高精度、小表面化粗糙度切削,700~800℃ 时易碳化

时,即失去它原有的硬度,并且淬火时容易产生变形和裂纹。

合金工具钢是在碳素工具钢中加入少量的 Cr、W、Mn、Si 等合金元素形成的刀具材料(如 9SiCr)。由于合金元素的加入,与碳素工具钢相比,其热处理变形有所减小,耐热性也有所提高。

以上两种刀具材料因其耐热性都比较差,所以常用于制造手工工具和一些形状较简单的低速刀具,如锉刀,锯条,铰刀等。

## 2. 高速钢

又称为锋钢或风钢,它是含有较多 W、Cr、V 等合金元素的高合金工具钢,如 W18Cr4V。与碳素工具钢和合金工具钢相比,高速钢具有较高的耐热性,温度达 600℃ 时,仍能正常切削,其许用切削速度为 30~50m/min,是碳素工具钢的 5~6 倍,而且它的强度、韧性和工艺性都较好,可广泛用于制造中速切削及形状复杂的刀具,如麻花钻、铣刀、拉刀、各种齿轮加工工具。

为了提高高速钢的硬度和耐磨性,常采用如下措施来提高其性能:

① 在高速钢中增添新的元素。如我国制成的铝高速钢，增添了铝元素，使其硬度达 70HRC，耐热性超过 600℃，被称之为高性能高速钢或超高速钢。

② 用粉末冶金法制造的高速钢称为粉末冶金高速钢。它可消除碳化物的偏析并细化晶粒，提高了材料的韧性、硬度，并减小了热处理变形，适用于制造各种高精度刀具。

### 3. 硬质合金

它是以高硬度、高熔点的金属碳化物（WC，TiC）为基体，以金属 Co、Ni 等为黏结剂，用粉末冶金方法制成的一种合金。其硬度为 74~82HRC，能耐 850~1000℃ 的高温，因此耐磨、耐热性好，许用切削速度是高速钢的 6 倍，但强度和韧性比高速钢低、工艺性差，因此硬质合金常用于制造形状简单的高速切削刀片，经焊接或机械夹固在车刀、刨刀、面铣刀、钻头 etc 刀体（刀杆）上使用。

国产的硬质合金一般分为两大类：一类是由 WC 和 Co 组成的钨钴类（YG 类）；另一类是 WC、TiC 和 Co 组成的钨钴钛类（YT 类）。

YG 类：YG 类硬质合金的韧性较好，但切削韧性材料时，耐磨性较差。因此，它适用于加工铸铁、青铜等脆性材料。常用的牌号有 YG3、YG6、YG8 等，其中数字表示 Co 的质量分数。

YT 类：YT 类硬质合金比 YG 类硬度高、耐热性好，在切削韧性材料时的耐磨性较好，但韧性较差，一般适用于加工钢件。常用的牌号有 YT5、YT15、YT30 等，其中数字表示 TiC 的质量分数。

为了克服常用硬质合金强度和韧性低、脆性大、易崩刃的缺点，常采用如下措施改善其性能：

① 调整化学成分。增添少量的碳化钽（TaC）、碳化铌（NbC），使硬质合金既有高的硬度又有好的韧性。

② 细化合金的晶粒。如超细晶粒硬质合金，硬度可达 90~93HRC，抗弯强度可达 2.0GPa。

③ 采用涂层刀片。在韧性较好的硬质合金（如 YG 类）基体表面，涂敷 5~10μm 厚的一层 TiC 或 TiN，以提高其表层的耐磨性。

### 1.2.3 新型刀具材料

近年来，随着高硬度难加工材料的出现，对刀具材料提出了更高的要求，这就推动了刀具新材料的不断开发。陶瓷是以氧化铝（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）或氮化硅（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）等为主要成分，经压制成形后烧结而成的刀具材料。陶瓷的硬度高、化学性能高、耐氧化，所以被广泛用于高速切削加工中。但由于其强度低、韧性差，长期以来主要用于精加工。

陶瓷刀具与传统硬质合金刀具相比，具有以下优点：可加工硬度高达 65HRC 的高硬度难加工材料；可进行扒荒粗车及铣、刨等大冲击间断切削；耐用度可提高几倍至几十倍；切削效率提高 3~10 倍，可实现以车、铣代磨。

立方氮化硼（CBN）是 20 世纪 70 年代发展起来的一种人工合成的刀具材料，它是由立方氮化硼在高温、高压下加入催化剂转变而成的。其硬度很高，可达 800~9000HV，仅次于金刚石，并具有很好的热稳定性，可承受 1000℃ 以上的切削温度。其最大优点是在高温（1200~1300℃）时也不会与铁族金属起反应，因此，既能胜任淬硬钢、冷硬铸铁的粗车和精车，又能胜任高温合金、热喷涂材料、硬质合金及其他难加工材料的高速切削。

人造金刚石是通过合金触媒的作用，在高温高压下由石墨转化而成，可以达到很高的硬

度，显微硬度可达 10000HV，因此具有很高的耐磨性，其摩擦因数小，切削刃可以做得非常锋利。但人造金刚石的热稳定性差，不得超过 700~800℃，特别是它与铁元素的化学亲和力很强，因此它不宜用来加工钢铁件。人造金刚石主要用来制作模具磨料，用作刀具材料时，多用于在高速下精细车削或镗削非铁金属及非金属材料。尤其用它切削加工硬质合金、陶瓷、高硅铝合金及高硬度、高耐磨性的材料时，具有很大的优越性。

### 1.3 金属切削过程及其物理现象

金属切削过程是指在刀具和切削力的作用下形成切屑的过程，在这一过程中会出现许多物理现象，如切削力、切削热、积屑瘤、刀具磨损和加工硬化等。因此，研究切削过程对切削加工的发展和进步，保证加工质量，降低生产成本，提高生产效率等，都有着重要意义。

#### 1.3.1 切削过程及切屑种类

##### 1. 切屑形成过程

对塑性金属进行切削时，切屑的形成过程就是切削层金属的变形过程。图 1-11 所示为在低速直角自由切削工件侧面时，用显微镜观察得到的切削层金属变形的情况，由图 1-11 (a) 可绘制出图 (b)、(c) 所示的滑移线和流线示意图。

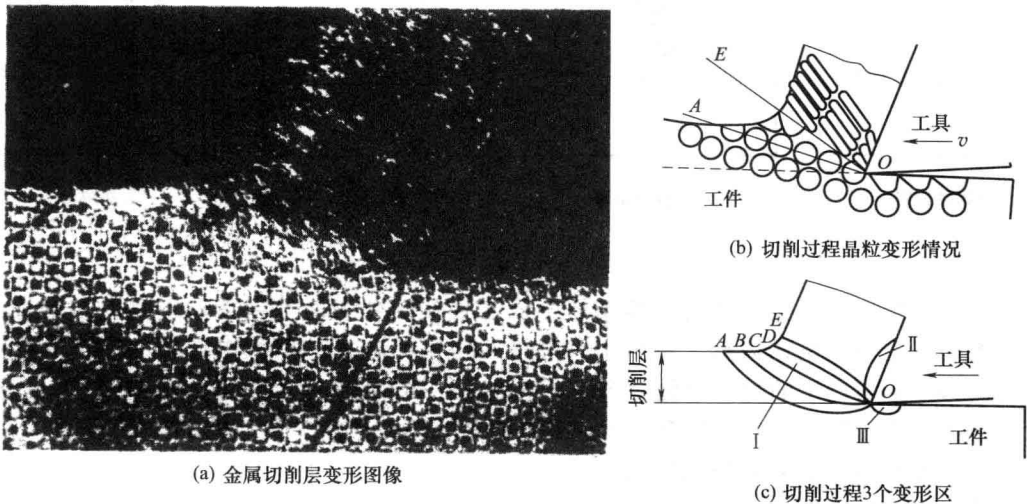


图 1-11 切屑的形成过程

当工件受到刀具的挤压以后，如图 1-11 (b) 所示，切削层金属在始滑移面  $OA$  以左发生弹性变形，愈靠近  $OA$  面，弹性变形愈大。在  $OA$  面上，应力达到材料的屈服点  $\sigma_s$ ，则发生塑性变形，产生滑移现象。随着刀具的连续移动，原来处于始滑移面上的金属不断向刀具靠拢，应力和变形也逐渐加大。在始滑移面  $OE$  上，应力和变形达到最大值。越过  $OE$  面，切削层金属将脱离工件基体，沿着前刀面流出而形成切屑，完成切离阶段。经过塑性变形的金属，其晶粒沿大致相同的方向伸长。可见，金属切削过程实质是一种挤压过程，在这一过程中产生的许多物理现象，都是由切削过程中的变形和摩擦所引起的。

切削塑性金属材料时，刀具与工件接触的区域可分为 3 个变形区，如图 1-11 (c) 所示。 $OA$  与  $OE$  之间是切削层的塑性变形区 I，称为第一变形区，或称基本变形区。基本变形区

的变形量最大，常用它来说明切削过程的变形情况。切屑与前刀面摩擦的区域Ⅱ称为第二变形区，或称摩擦变形区。切屑形成后与前刀面之间存在压力，所以沿前刀面流出时必然有很大的摩擦，因而使切屑底层又一次产生塑性变形。工件已加工表面与后刀面接触的区域Ⅲ称为第三变形区，或称加工表面变形区。这三个变形区汇集在切削刃附近，此处的应力比较集中而复杂，金属的被切削层就在此处与工件基体发生分离，大部分变成切屑，很小一部分留在已加工表面上。

## 2. 切屑的类型及其控制

由于工件材料不同，切削过程中的变形程度也就不同，因而产生的切屑种类也就多种多样，在图 1-12 中，图 (a)、图 (b)、图 (c) 为切削塑性材料的切屑，图 (d) 为切削脆性材料的切屑。

(1) 带状切屑 这是最常见的一种切屑 [见图 1-12 (a) 所示]。它的内表面是光滑的，外表面是毛茸的。如用显微镜观察，在外表面上也可看到剪切面的条纹，但每个单元很薄，肉眼看来大体上是平整的。加工塑性金属材料，当切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时，一般常得到这类切屑。它的切削过程平稳、切削力波动较小、已加工表面粗糙度较小。

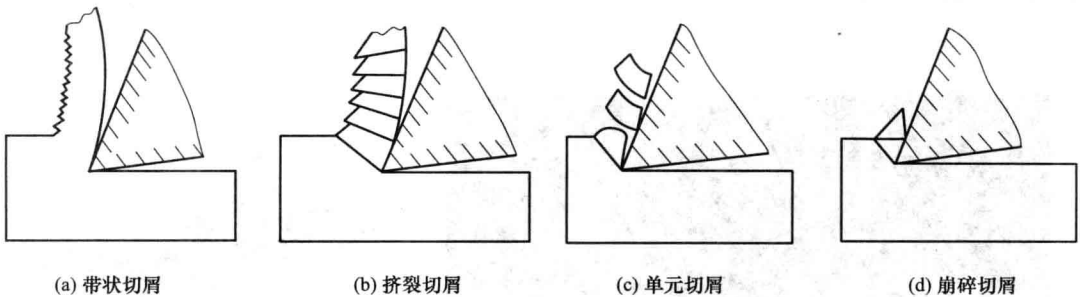


图 1-12 切削类型

(2) 挤裂切屑 这类切屑与带状切屑不同之处在于外表面呈锯齿形，内表面有时有裂纹。这类切屑之所以呈锯齿形，是由于它的第一变形区较宽，在剪切滑移过程中滑移量较大。由滑移变形所产生的加工硬化使剪切力增加，在局部地方达到材料的破裂强度。这种切屑大多在切削速度较低、切削厚度较大、刀具前角较小时产生。

(3) 单元切屑 如果在挤裂切屑的剪切面上，裂纹扩展到整个面上，则整个单元被切离，成为梯形的单元切屑。

以上三种切屑只有在加工塑性材料时才可能得到。其中，带状切屑的切削过程最平稳，单元切屑的切削力波动最大。在生产中最常见的是带状切屑，有时得到挤裂切屑，单元切屑则很少见。假如改变挤裂切屑的条件，如进一步减小刀具前角，减低切削速度，或加大切削厚度，就可以得到单元切屑。反之，则可以得到带状切屑。这说明切屑的形态是可以随切削条件而转化的。掌握了它的变化规律，就可以控制切屑的变形、形态和尺寸，以达到卷屑和断屑的目的。

(4) 崩碎切屑 这是属于脆性材料的切屑。这种切屑的形状是不规则的，加工表面是凹凸不平的，如图 1-12 (d) 所示。从切削过程来看，切屑在破裂前变形很小，和塑性材料的切屑形成机理也不同，它的脆断主要是由于材料所受应力超过了它的抗拉极限。加工脆硬材料，如高硅铸铁、白口铸铁等，特别是当切削厚度较大时常得到这种切屑。由于它的切削过




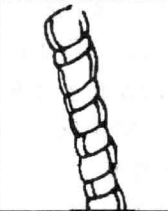

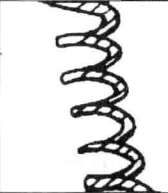
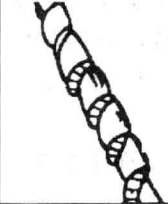


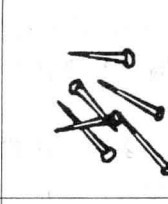
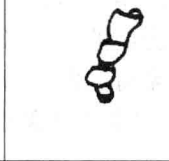
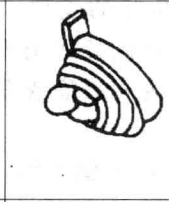
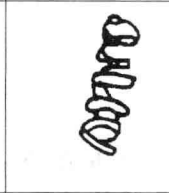
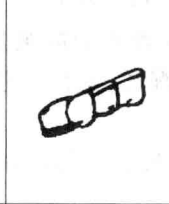
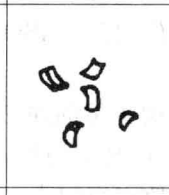
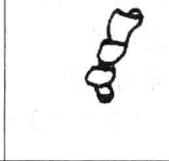
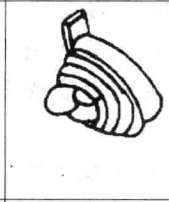
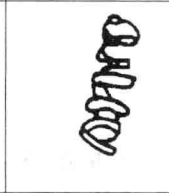
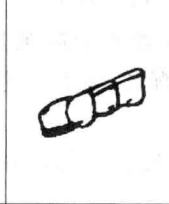
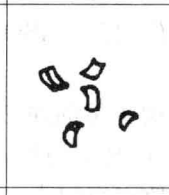
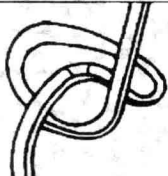

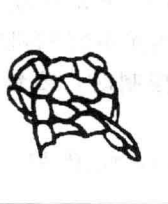



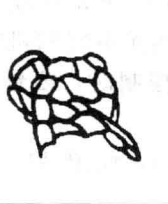

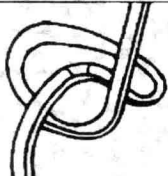

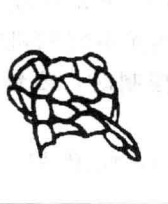

1. 带状切屑		1-1长的		3. 发条状切屑		4. 垫圈形螺旋切屑		5. 圆锥形螺旋切屑		6. 弧形切屑		7. 粒状切屑		8. 针状切屑	
		2-1长的		3-1平板形		4-1长的		5-1长的		6-1相连的					
		1-2短的		3-2锥形		4-2短的		5-2短的		6-2破碎的					
		1-3缠绕形													
		2-3缠绕形													
		1-3缠绕形													

图 1-13 国际标准化组织的切屑分类法 [见 ISO 3685—1993 (E)]