



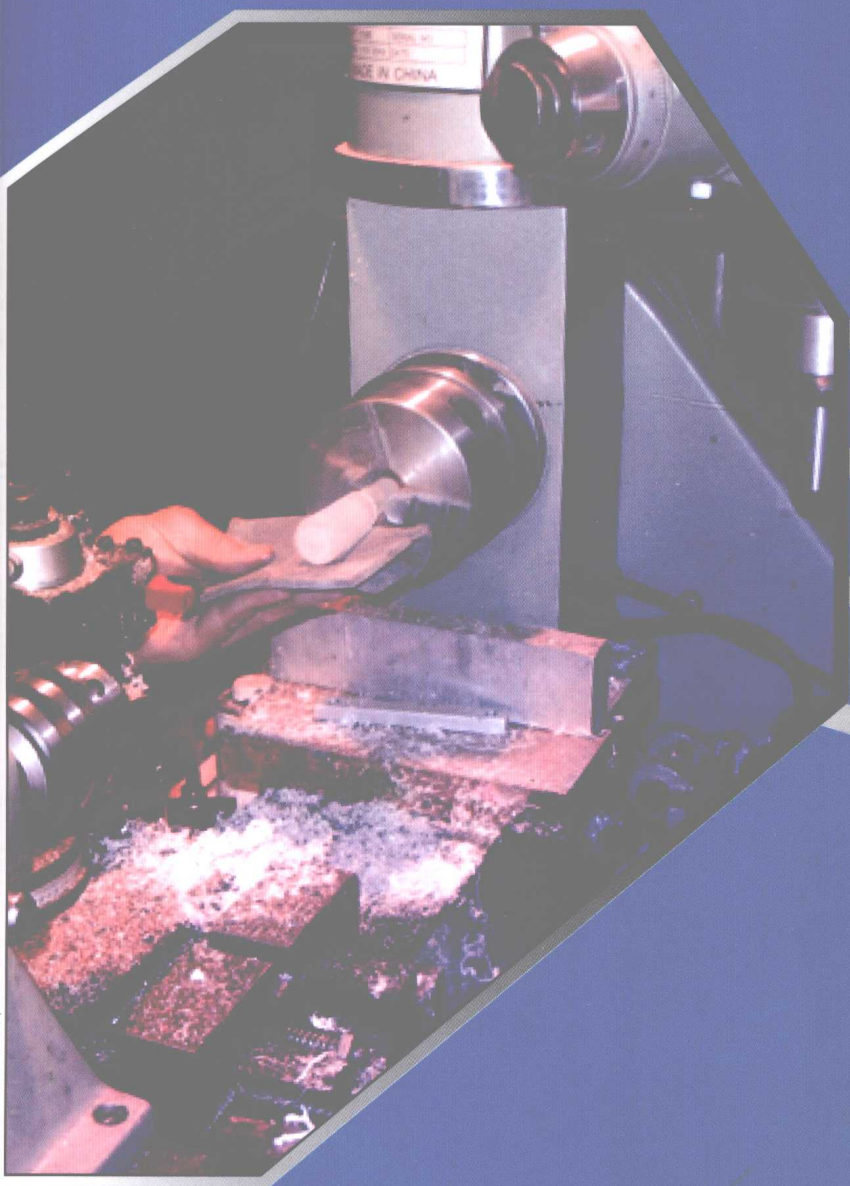
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

# 机械制造工艺基础

第三版

司乃钧 线恒录 主编



高等教育出版社

本书曾获教育部第三届高等学校优秀教材一等奖、普通高等学校国家级教学成果二等奖,普通高等教育“九五”、“十五”、“十一五”国家级规划教材。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械制造系列

# 机械制造工艺基础

(第三版)

|     |     |     |     |     |  |  |
|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 司乃钧 | 线恒录 | 主 编 |     |     |  |  |
| 敖晓春 | 副主编 |     |     |     |  |  |
| 司 杰 | 邓洪财 | 李晓东 | 林 琦 | 编 写 |  |  |
| 罗云霞 | 徐国义 | 主 审 |     |     |  |  |

高等教育出版社

## 内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第二版基础上,根据高职高专发展的新形势以及教育部制定的《高等学校工程专科机械加工工艺基础教学基本要求(机械类专业适用)》修订而成的。

本书内容包括金属切削加工基础知识、回转面加工、平面加工、螺纹与齿轮齿形加工、零件的结构工艺性、机械加工工艺过程设计、现代机械制造技术简介等。各章后面附有思考题与作业题。

本书经教育部高等学校工程专科金工课程建设委员会组织审稿通过,可作为高等职业学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机械类、近机械类专业的教材,也可供有关的工程技术人员参考。

本书曾获教育部第三届高等学校优秀教材一等奖,普通高等学校国家级教学成果二等奖,普通高等教育“九五”、“十五”、“十一五”国家级规划教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺基础/司乃钧,线恒录主编. —3版. —北京:高等教育出版社,2008.11

ISBN 978 - 7 - 04 - 024743 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 139764 号

|      |     |      |     |      |     |      |    |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|----|
| 策划编辑 | 罗德春 | 责任编辑 | 李京平 | 封面设计 | 于涛  | 责任绘图 | 尹莉 |
| 版式设计 | 余杨  | 责任校对 | 杨雪莲 | 责任印制 | 毛斯璐 |      |    |

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010 - 58581000

购书热线 010 - 58581118  
免费咨询 800 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 1092 1/16  
印 张 15  
字 数 360 000

版 次 1995 年 1 月第 1 版  
2008 年 11 月第 3 版  
印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷  
定 价 20.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究  
物料号 24743 - 00

## 第三版前言

为满足 21 世纪我国高职高专教学需要,我们在调查研究和长期教学实践的基础上,对本书第二版进行了修订。

本次修订主要体现了以下特点:

1. 为我国高职高专的培养目标服务,教材内容侧重于应用理论、应用技术和加工工艺;强调理论联系实际,强调对学生的实践训练;贯彻以应用为目的,以掌握概念、强化能力、扩大知识面为教学重点,基础理论以必需、够用为度的原则。

2. 力求做到重点突出、少而精、深入浅出、通俗易懂,使教材清晰、形象,易于自学。

3. 对部分内容、插图进行了调整、删简或充实,增加了新技术、新工艺。

4. 为帮助学生复习、思考和巩固所学知识,培养分析和解决问题的能力,每章后面附有思考题与作业题。这些题目可供课堂讨论或布置课后作业时选用。

5. 考虑了与《金工实习》(金禧德主编)的分工和衔接,本着既要避免脱节,又要防止不必要的重复,力求在金工实习的基础上进行总结、归纳、加深、拓宽和提高。

6. 全书名词、术语、牌号、型号及物理量的单位等均采用最新国家标准和法定计量单位。

使用本书时,各校可根据专业特点、教学时数等具体情况,对其内容进行调整或增删。书中带“\*”号的内容属于自学或选学或在金工实习中已讲授过的部分。

本课程实践性很强,学习本课程前应具有一定感性知识。因此,本课程应在金工实习(工程训练)后进行讲授,亦可实习与讲课穿插进行或将实习与课程内容结合起来教学。学生通过金工实习熟悉了各种主要机械加工方法的操作过程、所用设备和工具的基本原理和大致结构,并对毛坯或零件加工工艺过程有一定的了解。在此基础上学习本书,才能达到本课程教学的预期目的和要求。

本书由哈尔滨理工大学司乃钧教授、线恒录教授主编,教晓春任副主编,哈尔滨工业大学罗云霞教授、徐国义教授担任主审。参加编写的有司乃钧、线恒录(绪论、第二章),教晓春(第七章),邓洪财(第一章),司杰(第四章、第五章),李晓东(第三章),林琦(第六章)。

本书由教育部高等学校工程专科金工课程建设委员会组织审稿通过。参加审稿会的有周大恂教授、张继世教授、王季琨教授、田柏龄教授、金禧德教授等。本书可作为高等职业学院、高等专科学校、成人高校以及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机类、近机类专业的教材,也可供有关的工程技术人员参考。

与本书配套使用的教材有《机械工程材料》(吕焘、许德珠主编)、《热成形工艺基础》(司乃钧、王丽凤主编)、《金工实习》(金禧德主编)、《金工实验》(田柏龄主编)等。

在编写过程中得到了许德珠、吕焘、田柏龄、金禧德等老师以及有关学校、科研单位、工厂的帮助与指导,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请广大师生批评指正。

编者

2008 年 9 月

## 郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581896/58581879

**反盗版举报传真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编：**100120

**购书请拨打电话：**(010) 58581118

# 目 录

|                               |     |                          |     |
|-------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 绪论 .....                      | 1   | 第六节 平面加工方法的选择 .....      | 121 |
| 第一章 金属切削加工基础知识 .....          | 3   | 思考题与作业题 .....            | 123 |
| 第一节 切削加工的基本概念 .....           | 3   | 第四章 螺纹与齿轮齿形加工 .....      | 125 |
| 第二节 金属切削过程及其物理现象 .....        | 10  | 第一节 螺纹加工 .....           | 125 |
| 第三节 零件的加工质量与检验 .....          | 18  | 第二节 齿轮齿形加工 .....         | 132 |
| 第四节 提高加工质量与生产率的途径 .....       | 24  | 第三节 圆柱齿轮精整加工 .....       | 142 |
| 第五节 基准与装夹 .....               | 32  | 第四节 齿形加工方案的选择 .....      | 145 |
| 第六节 生产过程与生产类型 .....           | 33  | 思考题与作业题 .....            | 146 |
| 第七节 金属切削机床的分类与型号<br>的编制 ..... | 36  | 第五章 零件的结构工艺性 .....       | 149 |
| 思考题与作业题 .....                 | 39  | 第一节 零件结构的切削加工工艺性 .....   | 149 |
| 第二章 回转面加工 .....               | 44  | 第二节 零部件结构的装配和维修工艺性 ..... | 156 |
| 第一节 车削 .....                  | 44  | 思考题与作业题 .....            | 159 |
| 第二节 钻削与镗削 .....               | 60  | 第六章 机械加工工艺过程设计 .....     | 161 |
| 第三节 拉削 .....                  | 70  | 第一节 定位基准的选择 .....        | 161 |
| 第四节 磨削 .....                  | 73  | 第二节 机械加工工艺规程的制定 .....    | 167 |
| 第五节 光整加工 .....                | 88  | 第三节 典型零件加工工艺过程分析 .....   | 172 |
| 第六节 回转面加工方法的选择 .....          | 92  | 思考题与作业题 .....            | 185 |
| 思考题与作业题 .....                 | 94  | 第七章 现代机械制造技术 .....       | 189 |
| 第三章 平面加工 .....                | 99  | 第一节 特种加工技术 .....         | 190 |
| 第一节 车削 .....                  | 99  | 第二节 成组技术 .....           | 201 |
| 第二节 刨削、插削与拉削 .....            | 99  | 第三节 数控加工技术 .....         | 206 |
| 第三节 铣削 .....                  | 105 | 第四节 柔性制造技术 .....         | 220 |
| 第四节 磨削 .....                  | 118 | 第五节 快速成形技术 .....         | 225 |
| 第五节 光整加工 .....                | 120 | 思考题与作业题 .....            | 228 |
|                               |     | 主要参考文献 .....             | 230 |

# 绪 论

随着国民经济的不断发展,各行各业都需要大量的机器、设备和交通运输工具等机械产品,这些产品都是由很多零件、部件装配而成的。要想装配出合格的产品,必须先加工出合格的零件。零件的加工方法很多,一般分为热加工和冷加工两大类。热加工亦称热成形,主要包括铸造、锻造、焊接和热处理等。现代精密铸造、精密锻造和粉末冶金技术已能够使一些零件在热加工后,不需再用切削加工方法进行加工就可达到较高的质量。但是,目前它们的应用范围还不小,一般铸造、锻造、焊接只能得到形状、尺寸比较粗糙的成品或半成品。机械中的大部分零件,特别是质量要求高的,还需要经过切削加工。因此,正确地进行切削加工,对保证零件质量、提高生产率和降低成本有着重要意义。

金属切削加工是使用切削刀具或磨具从工件上切去多余的材料,以获得几何形状、尺寸精度和表面粗糙度等都符合要求的零件的加工方法。切削加工是工件处于再结晶温度下进行的加工,属于冷加工。金属切削加工分为钳工加工和机械切削加工两大类。

钳工一般是人工手持工具进行切削加工的方法,主要包括锉削、锯削、刮削、錾削、研磨、铰孔、攻螺纹、套螺纹等。为减轻劳动强度和提高生产率,目前钳工中的某些工作已逐渐被机械切削加工所代替,同时钳工工作也逐渐向机械化方向发展。钳工的主要优点是操作灵活方便,适应性强,所用工具、设备简单,所以在装配、修理等部门仍经常使用,在生产中(特别是在单件小批生产中)仍占有一定的地位。

机械切削加工是利用机械力作外力进行切削加工的方法。机械切削加工的方法很多,主要有车削、钻削、刨削、铣削、镗削、磨削和齿轮齿形加工等。在这些加工中所用的工艺技术和设备可分为传统的(常规的)和现代的两类。从目前我国经济实力和 development 情况看,传统工艺技术和设备在我国的应用仍然要持续一个相当长的时期,它们在制造业中仍将发挥相当重要的作用。因此,在逐步引入新技术、新工艺和新设备的同时,要设法用好、改造好现有的传统设备,使其充分发挥作用。

此外,传统技术(亦称常规技术)也是现代技术的基础,现代制造业中技术含量高的设备,基本上都是由传统技术和新技术两部分构成的。从总体上看,现代设备并未脱离传统设备的基本结构和成形原理,主要是控制系统、传动技术和测量技术变化较大。将传统技术与一种或多种新技术合理地进行组合,就可能构成另一种新技术。

“金属切削加工工艺”是在长期生产实践中发展起来的一门学科,是加工工艺经验的积累与结晶,我国的金属切削加工工艺发展史可远溯至史前。我国是世界上应用铜、铁最早的国家,早在 4 000 多年前就已开始使用铜,青铜器时代已经出现了金属切削加工的萌芽,在湖南衡阳出土的相当精致的东汉人字齿轮,说明在汉朝就有了金属机件,到了明朝已经出现了很多简单的切削加工设备,1668 年曾使用直径近 2 丈(约 6.6 m)的嵌片铣刀,由牲畜带动旋转,用来铣削天文仪上的铜环,为提高精度,可将铣刀换下装上磨石,对大铜环进行磨削加工。

明朝宋应星所著《天工开物》一书,内有冶铁、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,它是世



界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

事实说明,我国古代在金属加工工艺方面的科学技术曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有过遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出过巨大贡献。但是,由于封建制度的长期统治,自清朝末期以来我国的科学技术和生产水平长期处于停滞落后状态。只是到了 20 世纪 50 年代以后,我国的工业生产才得到了迅速发展,建立了机械制造、交通运输等许多现代化工业,为国民经济高速发展奠定了牢固基础。经过几十年建设,我国机械工业的制造技术、产品品种、数量、质量和经济效益都有了很大提高,有些产品已达到世界先进水平,机械产品不仅装备了国内各个部门,也进入了国际市场。

在取得上述成绩的同时,也应看到当前我国在机械产品的质量、技术水平、技术开发能力、劳动生产率、经济效益和管理水平等方面与工业发达国家相比,尚有较大差距,还不能适应国民经济发展的需要。生产实践证明,重视工艺教育,发展先进工艺技术,是发展我国现代机械制造业的重要基础。因此,我们必须重视和加速培养大批基础厚、专业宽、能力强和素质高的高级应用型机械工程技术人才,为机械工业自身科学技术的发展和加工工艺的研究作出积极贡献。

“机械制造工艺基础”是机械工程技术人員完成系统的工艺技术教育所必修的一门以工艺为主的综合性技术基础课。

本课程的教学目的和任务是使学生获得机械制造方法和工艺技术的基础知识,受到制造工艺实践的基本训练,为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作准备好必要的基础。学习本课程应达到以下基本要求:

1. 掌握机械加工工艺的基础知识,主要加工方法的基本原理、特点和应用范围。
2. 熟悉制订机械加工工艺规程的基本知识。具有确定零件加工方法和制订典型零件机械加工工艺规程的初步能力。
3. 具有综合运用工艺知识,分析零件切削加工与装配结构工艺性的初步能力。
4. 建立产品质量与经济观念。
5. 了解与本课程有关的新技术、新工艺及其发展趋势。

实验是培养学生独立工作能力和获得一定实验技能的重要教学环节。学生必须在教师和实验员的指导下自己动手做好实验,写出实验报告。

本课程的实践性、应用性和针对性都很强,为保证课程顺利进行,本课程应在金工实习后讲授。通过金工实习,在了解金属材料主要加工方法及其所用设备、附件、工具、刀具,并对主要切削加工工种具有一定基本操作技能的基础上进行课堂教学,将金工实习中所获得的比较零散的、片面的知识进行归纳、总结、拓宽、加深和应用,才能达到本课程预期的教学目的和要求。

在教学过程中应加强多媒体教学、现场教学和外厂参观,以扩展工艺知识面。课程中的有些工艺知识,例如零件加工工艺规程的制订、结构工艺性等内容,尚需在有关后续课程和课程设计、毕业实习、毕业设计中反复练习、提高,才能较好地掌握和应用。



# 第一章 金属切削加工基础知识

金属切削加工的形式虽然很多,但是它们在很多方面,例如切削时的运动、切削工具以及切削过程中的物理现象等,都有着共同的规律和现象。掌握这些规律和现象是学习各种切削加工方法的基础。同时,对于如何正确地进行切削加工,以保证零件质量,提高劳动生产率和降低生产成本,也有着重要意义。

## 第一节 切削加工的基本概念

### 一、切削加工的运动分析及切削要素

#### 1. 零件表面的形成与成形运动

各种机械零件的形状虽然各异,但从几何成形的角度来看,它们基本上都是由圆柱面、圆锥面、平面和成形面等组成的。因此,只要能对这几种表面进行加工,就能完成几乎所有机械零件的加工。

圆柱面和圆锥面是以直线为母线,以圆为运动轨迹作旋转运动时所形成的表面;平面是以一条直线为母线,以另一条直线为运动轨迹作平移运动时所形成的表面;成形面是以曲线为母线,以圆为运动轨迹作旋转运动时,或以直线为运动轨迹作平移运动时所形成的表面。

要加工出以上这些表面,就要求刀具与工件之间必须有一定的相对运动,即成形运动。成形运动包括主运动和进给运动,如图 1-1 所示。

主运动是指直接切除工件上的切削层,形成已加工表面所需的最基本运动。一般来讲,主运动是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动,机床的主运动只有一个。

进给运动是指不断地把切削层投入切削的运动,以加工出完整表面所需的运动。进给运动可能有一个或几个,通常运动速度较低,消耗功率较小。

主运动和进给运动可由工件或刀具完成,也可由工件和刀具共同完成。成形运动的形式有旋转的、平移的,有连续的、间歇的。

在每次切削中,工件上形成三种表面(图 1-2):待加工表面(工件上有待切除的表面);已加工表面(工件上经刀具切削后产生的表面);过渡表面或称加工表面(工件上由切削刃形成的那部分表面,它在下一切削行程中,刀具或工件的下一转里被切除,或由下一切削刃切除)。

#### 2. 切削要素

(1) 切削用量要素 包括切削速度、进给量和吃刀量等三要素。

① 切削速度  $v_c$  切削刃上选定点在主运动方向上相对于工件的瞬时速度,称为切削速度,即主运动速度,单位为  $\text{m/s}$  或  $\text{m/min}$ 。若主运动为旋转运动,切削速度为其最大的线速度,即

$$v_c = \pi d n / 1\,000 \times 60 \text{ m/s} \quad \text{或} \quad v_c = \pi d n / 1\,000 \text{ m/min}$$

式中: $d$ ——待加工表面或刀具的最大直径,mm;

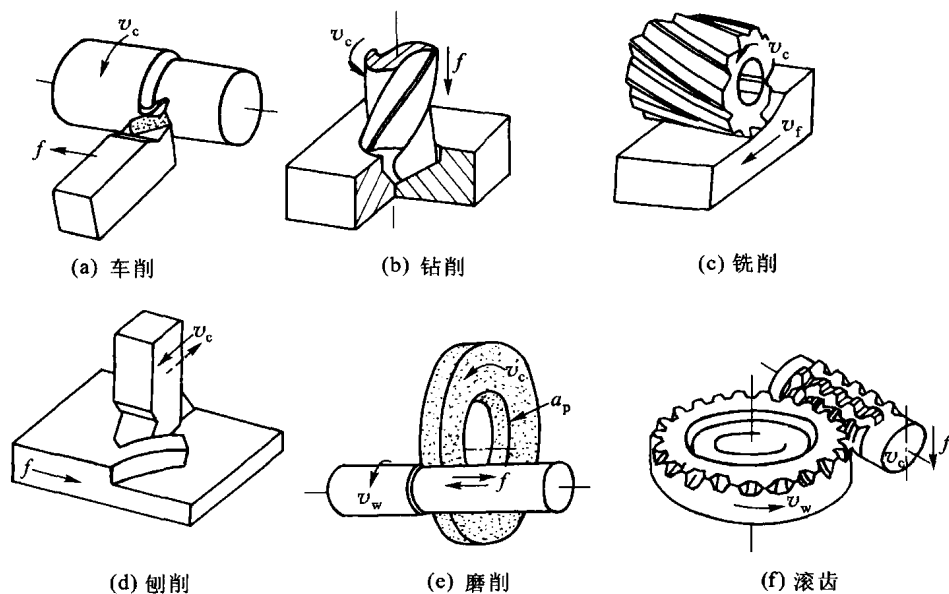


图 1-1 切削运动简图

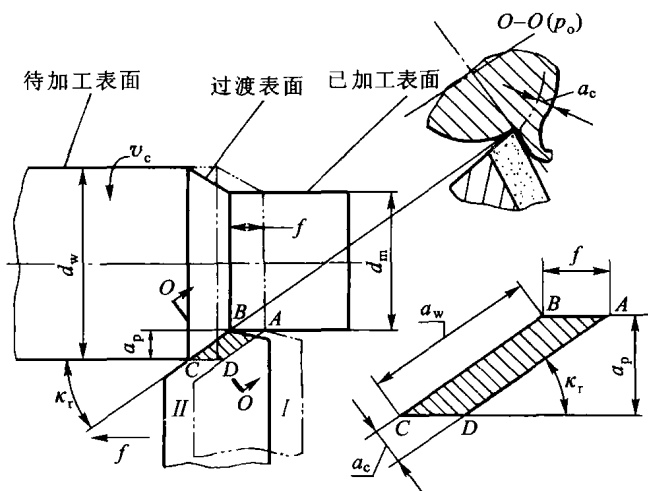


图 1-2, 车削时的切削要素

$n$ ——工件或刀具转数,  $r/\min$ 。

若主运动为往复直线运动(例如刨削、插削),则以其平均速度作为切削速度,即

$$v_c = 2Ln_r/1\,000 \times 60 \text{ m/s} \quad \text{或} \quad v_c = 2Ln_r/1\,000 \text{ m/min}$$

式中: $L$ ——刀具或工件作往复直线运动的行程长度,  $\text{mm}$ ;

$n_r$ ——刀具或工件每分钟往复次数,  $\text{dstr}/\min$ (双行程/分)。

② 进给量  $f$  在进给运动方向上,刀具相对于工件的位移量,称为进给量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量。车削时, $f$  为工件每转一转车刀沿进给运动方向移动的距离 (mm/r);刨削时, $f$  为刨刀(或工件)每往复一次工件(或刨刀)沿进给运动方向移动的距离 (mm/dstr)。

③ 吃刀量  $a_p$ 。每次走刀刀具切入工件的深度,称为吃刀量,俗称切削深度,单位为 mm。背吃刀量  $a_p$  是指通过切削刃基点(一般是指主切削刃工作长度的中点),在垂直于工作平面<sup>①</sup>的方向上测量的吃刀量。车外圆时,背吃刀量等于待加工表面与已加工表面之间的垂直距离,单位为 mm,即  $a_p = 1/2(d_w - d_m)$  ( $d_w$  为待加工表面直径,  $d_m$  为已加工表面直径)。

(2) 切削层尺寸要素 切削层是指刀具切过工件的一个单程,或指只产生一圈过渡表面的过程中,所切除的工件材料层。通过切削刃基点并垂直于该点主运动方向的平面,称为切削层尺寸平面(图 1-2 中 ABCD 截面)。各种切削加工的切削层参数,可用典型的外圆纵车来说明。如图 1-2 所示,车削中工件转过一转,车刀由位置 I 移动到位置 II 时,车刀所切下的金属层即为切削层。

① 切削厚度  $a_c$  或  $h_D$ 。是指在切削层尺寸平面内,沿垂直于切削刃方向度量的切削层尺寸,单位为 mm。如图 1-2 所示,车外圆时:  $a_c = f \sin \kappa_r$  ( $\kappa_r$  是刀具主偏角)。

② 切削宽度  $a_w$  或  $b_D$ 。是指在切削层尺寸平面内,沿切削刃方向度量的切削层尺寸,单位为 mm,它代表切削刃的工作长度。如图 1-2 所示,车外圆时:  $a_w = a_p / \sin \kappa_r$ 。

③ 切削面积  $A_c$  或  $A_D$ 。是指在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积,单位为  $\text{mm}^2$ ,它代表刀具所受负荷的大小,由此可估算出切削力和切削功率。如图 1-2 所示,车外圆时:  $A_c = a_c a_w = a_p f$ 。

## 二、刀具角度

切削刀具的种类很多,形状多种多样,但它们切削部分的结构要素和几何角度却存在着共性,都可看做是以外圆车刀切削部分为基本形状的演变和组合。各种复杂刀具或多齿刀具,就其一个刀齿而言,都相当于一把外圆车刀的刀头。外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具。因此,研究切削刀具时,总是以车刀为基础。

### 1. 车刀的组成

车刀由刀头和刀杆组成(图 1-3)。刀头担任切削,又称切削部分。车刀切削部分一般由三个刀面(前面、主后面、副后面)、两个切削刃(主切削刃、副切削刃)和一个刀尖构成。

### 2. 辅助平面

为确定刀面和切削刃的空间位置,首先要建立由基面、切削平面和正交平面等三个互相垂直的辅助平面组成的刀具标注角度参考系(即正交平面参考系),如图 1-4 所示。以此参考系为基准,用角度值来反映各刀面和切削刃的空间位置。

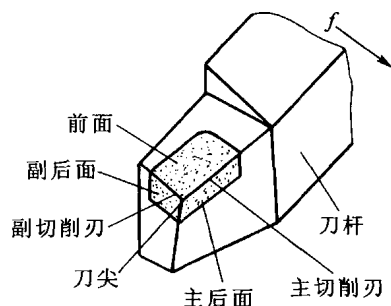


图 1-3 车刀的组成

① 工作平面是指通过切削刃选定点,并同时包含主运动方向和进给运动方向的平面。

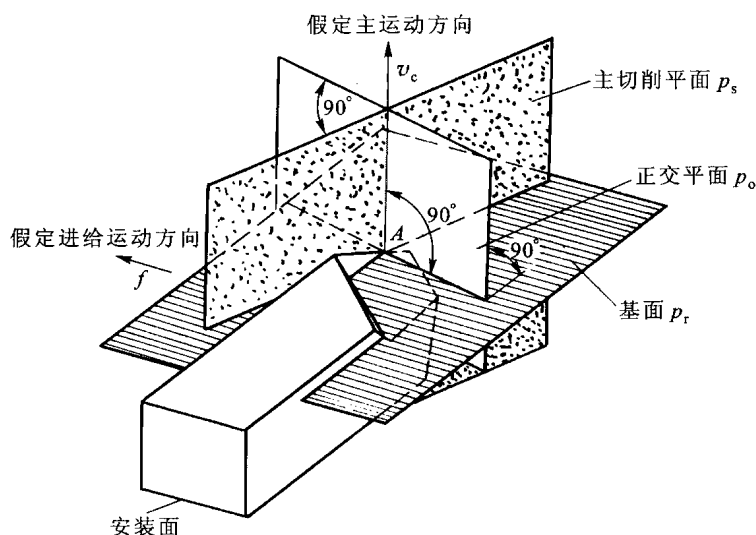


图 1-4 三个辅助平面的关系

(1) 基面  $p_r$ 。过切削刃上选定点  $A$ , 垂直于假定主运动方向的平面, 称为基面, 用  $p_r$  表示。一般来说, 基面应平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的某一安装定位平面或轴线。例如, 普通车刀、刨刀的基面平行于刀具底面; 钻头、铣刀和丝锥等旋转类刀具, 其基面是刀具的轴向剖面。

(2) 主切削平面  $p_s$ 。过主切削刃上选定点  $A$  与主切削刃相切 (与工件过渡表面相切), 并垂直于基面的平面, 称为主切削平面, 用  $p_s$  表示。

(3) 副切削平面  $p'_s$ 。过副切削刃上选定点与副切削刃相切, 并垂直于基面的平面, 称为副切削平面, 用  $p'_s$  表示。

(4) 正交平面  $p_o$ 。过切削刃上选定点  $A$ , 并同时垂直于基面和切削平面的平面, 称为正交平面, 用  $p_o$  表示 (俗称主剖面)。

### 3. 车刀的标注角度

标注角度是指在刀具图样上标注的角度, 它是刀具制造、刃磨时的依据。车刀的主要标注角度有以下五个, 如图 1-5 所示。

(1) 前角  $\gamma$ 。在正交平面中测量, 是刀具前面与基面之间的夹角。它表示刀具前面的倾斜程度, 根据刀具前面与基面相对位置的不同, 前角有正、负和零值之分。

(2) 主后角  $\alpha$ 。在正交平面中测量, 是刀具主后面与主切削平面之间的夹角。它表示刀具主后面的倾斜程度, 主后角一般为正值。

(3) 主偏角  $\kappa$ 。在基面中测量, 是主切削平面与假定工作平面<sup>①</sup>之间的夹角, 即主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。主偏角一般为正值。

(4) 副偏角  $\kappa'$ 。在基面中测量, 是副切削平面与假定工作平面之间的夹角, 即副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向之间的夹角。副偏角一般为正值。

<sup>①</sup> 假定工作平面是指通过切削刃选定点, 并垂直于基面的平面。一般来说, 其方位要平行于假定的进给运动方向。

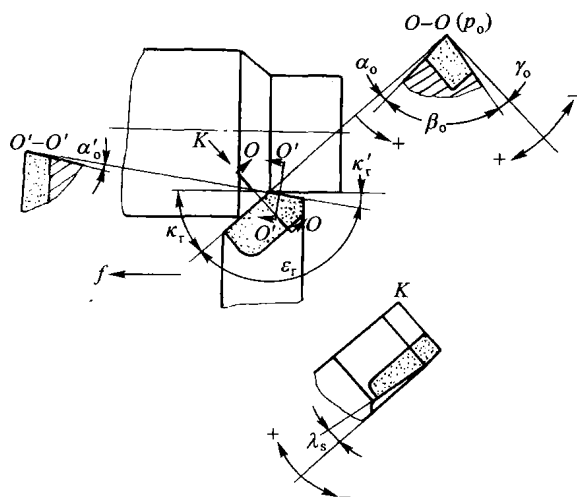


图 1-5 车刀的主要标注角度

(5) 刃倾角  $\lambda_s$ 。在主切削平面中测量,是主切削刃与基面之间的夹角。当主切削刃呈水平时,  $\lambda_s = 0^\circ$  (图 1-6b); 刀尖为主切削刃上最低点时,  $\lambda_s$  为负值 (图 1-6a); 刀尖为主切削刃上最高点时,  $\lambda_s$  为正值 (图 1-6c)。

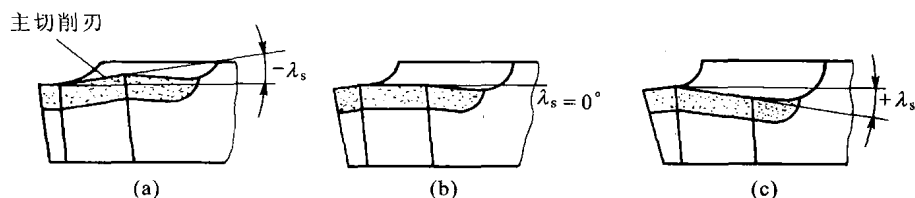


图 1-6 刃倾角的正与负

上述标注角度是在车刀刀尖与工件回转轴线等高、刀杆纵向轴线垂直于进给方向以及不考虑进给运动的影响等条件下确定的。实际切削时,由于刀具装夹位置和进给运动的影响,确定标注角度的条件可能改变,辅助平面位置将发生变化,导致刀具实际切削时的角度值与标注角度值不同。以切削时实际辅助平面位置所确定的刀具角度,称为工作角度或实际角度。

以上研究的是外圆车刀的角度。对于其他种类的刀具,就其切削部分而言,都可看成是由简单的车刀组成的。如图 1-7 所示,铣刀和扩孔钻的每个刀齿都相当于一把车刀。

### 三、刀具材料的选用

#### 1. 对刀具切削部分材料的基本要求

切削部分的材料在切削时要承受高压、高温、摩擦、冲击和振动,因此应具备以下性能:

(1) 高的硬度 刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度,刀具材料的室温硬度,一般要求在 60 HRC 以上。

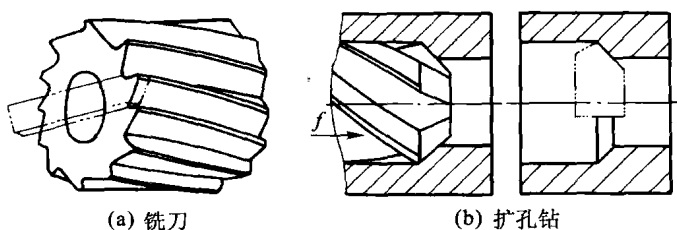


图 1-7 铣刀、扩孔钻切削部分的形状

(2) 高的耐磨性 耐磨性高,抗磨损能力强。一般来说,刀具材料硬度越高,耐磨性越好。

(3) 高的热硬性 即在高温下仍能保持较高硬度的性能。一般用热硬性温度表示,热硬性温度是指能保持刀具切削性能所允许的最高温度。热硬性温度越高,刀具材料所允许的切削温度越高。

(4) 足够的强度和韧性 是为了承受切削力的反力、冲击和振动,以防刀具脆性断裂和崩刃。

(5) 较好的工艺性 为便于制造刀具,其材料应具有较好的工艺性,如锻造性、焊接性、切削加工性和热处理性等。

## 2. 常用刀具材料的性能与应用

(1) 碳素工具钢 淬火后硬度为 61 ~ 65 HRC,热硬性差,在 200 ~ 250 ℃ 时即失去原有硬度,淬火后易变形和开裂。常用作低速( $v_c < 8 \text{ m/min}$ )、简单的手工工具,如锉刀、刮刀、手用锯条等。常用牌号为 T10A、T12A 等。

(2) 合金工具钢 淬火后硬度为 60 ~ 65 HRC,热硬性温度为 300 ~ 350 ℃,热处理变形小、淬透性好。用于制造丝锥、板牙、铰刀等形状较为复杂、切削速度不高的刀具( $v_c < 10 \text{ m/min}$ )。常用牌号有 CrWMn、9SiCr 等。

(3) 高速工具钢 又称锋钢、白钢。淬火后硬度为 62 ~ 67 HRC,热硬性温度为 550 ~ 600 ℃,抗弯强度和韧性较高,易磨出锋利的刀刃,热处理变形小。常用于制造形状复杂的刀具,如钻头、铣刀、拉刀、齿轮刀具等,允许的切削速度一般为  $v_c < 30 \text{ m/min}$ 。常用牌号有 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2。

(4) 硬质合金 硬度为 89 ~ 93 HRA(相当于 74 ~ 82 HRC),热硬性温度为 850 ~ 1 000 ℃,允许的切削速度为 100 ~ 300 m/min。其抗弯强度和韧性比高速工具钢低,工艺性也不如高速工具钢。硬质合金一般制成各种型式的刀片,焊接或夹固在刀体上使用,很少制成整体刀具。切削加工用硬质合金按其切屑排出形式和加工对象的范围可分为三个主要类别,分别以字母 P、M、K 表示(见表 1-1)。

P——适于加工长切屑的钢铁材料,以蓝色作标志。

M——适于加工长切屑或短切屑的钢铁材料以及有色金属,以黄色作标志。

K——适于加工短切屑的钢铁材料、有色金属及非金属材料,以红色作标志。

根据被加工材质及适应的加工条件的不同,进一步将各类硬质合金按用途进行分组,其代号由在主要类别代号后加一组阿拉伯数字组成,如 P01, M10, K20, …。每一类别中,数字越大,耐

磨性越低(切削速度要低),而韧性越高(进给量可大)。

根据实际需要,在相邻的两个用途分组代号之间可以插入一个中间代号,以中间数字表示。如 P10 和 P20 之间插入 P15,K20 和 K30 之间插入 K25 等,但不得多于一个。

在特殊情况下,P01 类的分组代号可以再细分,其代号是在分组代号后面加一位阿拉伯数字,并以一小数点隔开,如 P01.1,P01.2,⋯,以便在这一用途小组作精加工时能区别出不同程度的耐磨性或韧性。切削用硬质合金用途分组代号与硬质合金牌号的对照见表 1-1。

表 1-1 切削加工用硬质合金的应用范围

| 牌号           | 代号  | 被加工材料                                                     | 适应的加工条件                                                   |
|--------------|-----|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| YT30         | P01 | 钢、铸钢                                                      | 高切削速度、小切屑截面、无振动条件下的精车、精镗                                  |
| YT15         | P10 | 钢、铸钢                                                      | 高切削速度、中等或小切屑截面条件下的车削、仿形车削、车螺纹和铣削                          |
| YT14         | P20 | 钢、铸钢、长切屑可锻铸铁                                              | 中等切削速度和中等切屑截面条件下的车削、仿形车削和铣削,小切屑截面的刨削                      |
| YT5          | P30 | 钢、铸钢、长切屑可锻铸铁                                              | 中或低等切削速度、中等或大切屑截面条件下的车削、铣削、刨削和不利条件下的加工                    |
|              | P40 | 钢、含砂眼和气孔的铸钢件                                              | 低切削速度、大切削角、大切屑截面,以及不利条件下的车削、刨削、切槽和自动机床上的加工                |
|              | P50 | 钢、含砂眼和气孔的中、低强度钢铸件                                         | 用于要求硬质合金有较高韧性的工序:在低切削速度、大切削角、大切屑截面及不利条件下的车削、刨削、切槽和自动机床上加工 |
| YW1          | M10 | 钢、铸钢、锰钢、灰铸铁和合金铸铁                                          | 中或高切削速度、小或中等切屑截面条件下的车削                                    |
| YW2          | M20 | 钢、铸钢、奥氏体钢或锰钢、灰铸铁                                          | 中等切削速度、中等切屑截面条件下的车削、铣削                                    |
|              | M30 | 钢、铸钢、奥氏体钢、灰铸铁、耐高温合金                                       | 中等切削速度、中等或大切屑截面条件下的车削、铣削、刨削                               |
|              | M40 | 低碳易切钢、低强度钢、有色金属和轻合金                                       | 车削、切断,特别适于自动机床上的加工                                        |
| YG3X         | K01 | 特硬灰铸铁、肖氏硬度大于 85 的冷硬铸铁、高硅铝合金、淬硬钢、高耐磨塑料、硬纸板、陶瓷              | 车削、精车、镗削、铣削、刮削                                            |
| YG6X<br>YG6A | K10 | 布氏硬度高于 220 的灰铸铁、短切屑的可锻铸铁、淬硬钢、硅铝合金、铜合金、塑料、玻璃、硬橡胶、硬纸板、瓷器、石料 | 车削、铣削、钻削、镗削、拉削、刮削                                         |
| YG6<br>YG8N  | K20 | 布氏硬度低于 220 的灰铸铁,有色金属:铜、黄铜、铝                               | 用于要求硬质合金有高韧性的车削、铣削、刨削、镗削、拉削                               |
| YG8N<br>YG8  | K30 | 低硬度灰铸铁、低强度钢、压缩木料                                          | 用于在不利条件下可能采用大切削角的车削、铣削、刨削、切槽加工                            |
|              | K40 | 软木或硬木、有色金属                                                | 用于在不利条件下可能采用大切削角的车削、铣削、刨削、切槽加工                            |

注:不利条件系指原材料或零件铸造或锻造的表皮、硬度不均和加工时的吃刀深度不均、间断切削以及振动等情况。



为改善硬质合金的性能,近年来已研制出超细晶粒硬质合金和表面涂层硬质合金。

因为硬质合金晶粒尺寸越小,其强度、韧性和耐磨性越高,所以超细晶粒硬质合金(WC 晶粒  $< 0.5\ \mu\text{m}$ )比普通硬质合金(WC 晶粒为几微米)的性能高。主要用于切削耐热合金、高强度合金等难加工材料。

表面涂层硬质合金是在韧性较好的钨钴类硬质合金的基体表面涂覆  $5 \sim 12\ \mu\text{m}$  厚的一层 TiC 或 TiN,以提高其表面的耐磨性。表面涂层刀片,可使刀具寿命提高  $2 \sim 5$  倍。但因涂层极薄,故只用于制作不重磨刀片。目前,表面涂层硬质合金主要用于半精加工和精加工。

(5) 陶瓷材料 制作刀具的陶瓷材料主要是金属陶瓷,其主要成分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。陶瓷刀具硬度可达  $91 \sim 94\ \text{HRA}$ ,热硬性温度为  $1\ 200 \sim 1\ 450\ ^\circ\text{C}$ ,允许的切削速度比硬质合金高,而且价廉。但其抗弯强度低,韧性差。目前主要用于半精加工和精加工高硬度、高强度钢及冷硬铸铁等。常用牌号有 AM、AMF、AMT、AMMC 等。

(6) 人造金刚石 硬度极高(约  $10\ 000\ \text{HV}$ ,而硬质合金为  $1\ 000 \sim 2\ 000\ \text{HV}$ ),热硬性温度为  $700 \sim 800\ ^\circ\text{C}$ ,粒度一般小于  $0.5\ \text{mm}$ 。金刚石可加工硬质合金、陶瓷、玻璃、有色金属及其合金,但不宜加工钢铁材料。这是因为金刚石是碳的同素异形体,碳与铁原子亲和力强,易产生粘结作用而加快刀具磨损。

(7) 立方氮化硼(CBN) 硬度( $7\ 300 \sim 9\ 000\ \text{HV}$ )和耐磨性仅次于人造金刚石,但热硬性( $1\ 300 \sim 1\ 500\ ^\circ\text{C}$ )和化学稳定性高于金刚石。它的抗弯强度低,焊接性差。立方氮化硼适于半精加工、精加工高硬度、高强度淬火钢,耐热钢和冷硬铸铁,也可精加工有色金属。

## 第二节 金属切削过程及其物理现象

切削过程即刀具在成形运动中,从工件上切下多余的金属,形成已加工表面的过程。金属变形是切削过程中的基本问题。切削过程中产生的各种物理现象,如切削力、切削热和刀具磨损等,都是由于切削过程中金属变形和摩擦所引起的。

### 一、切屑的形成过程及切屑种类

#### 1. 切屑的形成过程

金属切削过程也是切屑的形成过程,其实质是一种挤压过程。在挤压过程中,被切削的金属主要经过剪切滑移变形而形成切屑。如图 1-8 所示,切削塑性材料时,当工件受到刀具前面挤压后,在接触处开始产生弹性变形。随着刀具继续切入,材料内部的应力、应变逐渐增大。当与切削速度方向呈一定夹角的  $OA$  晶面上(约  $45^\circ$ )产生的切应力达到材料的屈服强度时,则开始剪切滑移产生塑性变形。随着刀具连续移动,原来处于始滑移面  $OA$  上的金属不断向刀具靠近,当滑移过程进入终滑移面  $OE$  位置时,应力、应变达到最大值。越过  $OE$  面后切削层脱离工件母体,沿着刀具前面流出而形成切屑,完成切离阶段。

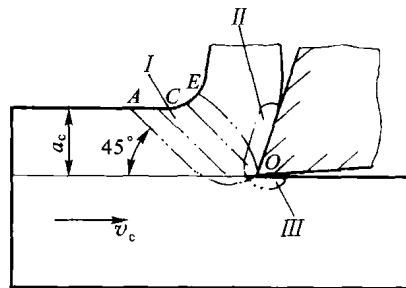


图 1-8 切屑的形成过程

图 1-8 中  $OA$  与  $OE$  之间是切削层的塑性变形区,变形

量最大,称为第I变形区,或称基本变形区。在切削过程中,由于切削速度较高, $OA$ 、 $OE$ 之间相距很近,可以近似地用 $OE$ 平面来表示该变形区, $OE$ 面称为剪切面;切屑沿刀具前面流出时进一步受到前面的挤压和摩擦,使切屑底层又一次产生塑性变形,称此变形区为第II变形区。切屑经此变形区时,其底层比上层伸长得多,发生了切屑卷曲;如图1-9所示,因刀具刃口有一定圆弧半径 $r_n$ ,故切削层内 $O$ 点以下的金属 $\Delta A$ 并未与母体分离,留下来被刃口圆弧挤压成 $\Delta H$ 。此外,由于刀具磨损,后面 $BE$ 段后角为零的棱面与已加工表面摩擦,以及弹性恢复使已加工表面与刀具后面的接触面加大,增加了挤压和摩擦。这些原因使已加工表面产生了强烈的塑性变形,这就是第III变形区。由于已加工表面的塑性变形,使其产生冷变形强化(强化层的硬度为工件材料硬度的1.2~2倍,深度为0.02~0.3 mm)和残留应力。冷变形强化给后续工序的切削加工增加了困难。

经过塑性变形的切屑与原切削层比较,厚度增大而长度缩短(图1-10),这种现象称为切屑收缩。在其他条件不变时,切屑变形越大,切削力越大,切削温度越高,加工表面越粗糙。因此,在加工过程中,应根据具体情况采取相应措施,来减小变形程度,改善切削过程。

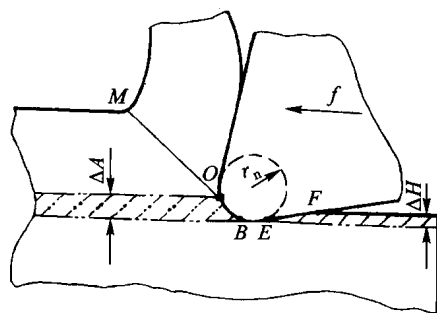


图 1-9 已加工表面的变形

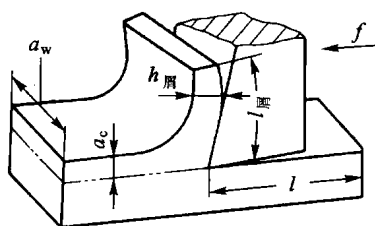


图 1-10 切屑的收缩

## 2. 切屑的种类

切削时,由于被加工材料性能与切削条件的不同,滑移变形的程度有很大差异,因而得到不同形状 of 切屑,常见的有带状切屑、节状切屑、粒状切屑和崩碎切屑,如图1-11所示。

(1) 带状切屑 其外形连绵不断,与刀具前面接触的面很光滑,背面呈毛茸状。使用较大前角的刀具、采用较高切削速度和较小进给量切削塑性材料时,容易得到带状切屑。这是因为切削层经过终滑移面 $OE$ 时产生的最大塑性变形尚未达到破裂程度就被切离母体。形成带状切屑时,切削过程较平稳,切削力波动较小,加工表面较光洁。但切屑连续不断,易缠绕在刀具和工件上,且不利于切屑的清除和运输,因此应采取断屑措施。

(2) 节状切屑(挤裂切屑) 切屑的背面呈锯齿形,底面有时出现裂纹。使用较小前角的刀具、较低的切削速度和较大的进给量粗加工中等硬度的钢材时,容易得到节状切屑。形成节状切屑时,切削力波动较大,加工表面较粗糙。节状切屑是经过弹性变形、塑性变形、挤裂和切离等阶段形成的,所以是典型的切削过程。

(3) 粒状切屑 在形成节状切屑的情况下,若进一步减小前角,降低切削速度,或增大切削厚度,则切屑在整个厚度上被挤裂,形成梯形的粒状切屑。粒状切屑的各粒形状相似,也称单元切屑。粒状切屑比较少见,形成时切削力波动最大。