

示范性高等职业院校系列规划教材

机械制造技术

JIXIEZHIZHAOJISHU

主编 / 周养萍

副主编 / 崔彦斌 雷伟斌



西北大学出版社

内容简介

本书是示范性高等职业院校系列规划教材。本书是在“以能力为本位、以工作过程为导向”的人才培养模式改革思路的指导下,通过对金属切削原理与刀具、金属切削机床、机床夹具设计、机械制造工艺等课程的知识进行有机综合而编写成的。全书主要内容包括:机械制造技术基础知识、典型零件加工工艺及工艺实施、机械装配工艺基础知识、先进制造技术简介。

本书可作为高等职业机械类各专业教材,也可供近机械类学生及从事机械设计制造的工程技术人员参考。

一、图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术 / 周养萍主编. — 西安: 西北大学出版社. 2009.9

ISBN 978-7-5604-2607-5

I. 机… II. 周… III. 机械制造工艺—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第 147613 号

机械制造技术

主 编 周养萍

出版发行: 西北大学出版社

地 址 西安市太白北路229号

邮 编 710069

电 话 029-88303313

经 销 全国新华书店

印 务 西安华新彩印有限责任公司

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 38

字 数 82千字

版 次 2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5604-2607-5

定 价 22.00元

前言

随着我国高等职业教育的迅速发展,我们对高职教育的定位和培养模式也逐渐明确:提出“以工作过程为导向”的人才培养模式,在人才培养过程中强调“工作导向,任务驱动”,达到培养“技术应用型人才”的目标。本教材就是适应新的人才培养模式而编写的。

本教材在编写过程中,我们着重注意了以下几个问题:

(1) 适应新的人才培养模式,教材内容按模块化、项目化的方式进行编写。

(2) 按照培养目标,确立以“工艺”为主线,有机整合刀具、机床及夹具内容,使之为工艺服务。展示“看懂工艺→实施工艺→编制工艺”逐渐递增的能力培养过程,符合职业教育能力培养的规律。

(3) 本着以“必须、够用”为原则,对原学科体系中的理论内容和推理部分进行了大幅度精简,注重应用介绍,加强理论与实践的相互结合,以培养学生的综合实践能力。

本教材分四个模块,12个项目。四个模块分别是:机械制造技术基础知识、典型零件加工、机械装配工艺基础知识、先进制造技术简介。12个项目分别是:机械制造技术概论、金属切削加工基本知识、金属切削加工、机床夹具、机械加工工艺规程设计、机械加工质量分析、轴类零件加工工艺及工艺实施、套筒类零件加工工艺及工艺实施、箱体类零件加工工艺及工艺实施、齿轮零件加工工艺及工艺实施、机械装配工艺基础、先进制造技术简介。本教材参考学时为130学时左右。

本教材由西安航空职业技术学院周养萍担任主编,崔彦斌和雷伟斌担任副主编。参加编写的有西安航空职业技术学院周养萍(项目6、11)、崔彦斌(项目1、5)、雷伟斌(项目3、9、10)、武欣竹(项目4、7、8)、马海国(项目2)、陈芳(项目12)。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校老师编写的有关教材及相关资料,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加上编写时间仓促,书中难免有不妥与错误之处,恳请专家、同行及广大读者批评指正。

编者
2009年8月

目录

模块1 机械制造技术基础知识

项目1 机械制造技术概论	(1)
1.1 机械制造技术概论	(1)
1.2 本课程的研究对象、内容及学习要求	(2)
习题与思考题	(2)
项目2 金属切削加工基本知识	(3)
2.1 切削运动与切削用量	(3)
2.2 切削层参数与切削方式	(5)
2.3 金属切削过程中的物理现象及规律	(6)
2.4 金属切削刀具	(15)
习题与思考题	(25)
项目3 金属切削加工	(27)
3.1 金属切削机床的基础知识	(27)
3.2 车削加工	(32)
3.3 铣削加工	(46)
3.4 磨削加工	(58)
3.5 齿轮加工	(69)
3.6 其他切削加工简介	(83)
3.7 特种加工简介	(89)
习题与思考题	(99)
项目4 机床夹具	(101)
4.1 机床夹具的功能与分类	(101)
4.2 工件在夹具中的定位	(104)
4.3 工件在夹具中的夹紧	(126)

4.4 典型机床夹具的应用 (141)

习题与思考题 (156)

项目5 机械加工工艺规程设计 (159)

5.1 机械加工工艺过程 (159)

5.2 机械加工工艺规程 (164)

5.3 工艺规程内容设计 (165)

5.4 数控加工工艺基础 (187)

习题与思考题 (191)

项目6 机械加工质量分析 (193)

6.1 机械加工精度 (193)

6.2 影响机械加工精度的因素 (193)

6.3 加工误差的综合分析 (203)

6.4 减少加工误差的措施 (208)

6.5 机械加工表面质量 (210)

6.6 提高加工表面质量的途径 (214)

习题与思考题 (216)

模块2 典型零件加工

项目7 轴类零件加工工艺及工艺实施 (218)

7.1 任务描述 (218)

7.2 知识链接 (218)

7.3 任务实施 (221)

习题与思考题 (230)

项目8 套筒类零件加工工艺及工艺实施 (232)

8.1 任务描述 (232)

目录

8.2 知识链接	(232)
8.3 任务实施	(234)
习题与思考题	(241)
项目9 箱体类零件加工工艺及工艺实施	(243)
9.1 任务描述	(243)
9.2 知识链接	(243)
9.3 任务实施	(248)
习题与思考题	(253)
项目10 齿轮零件加工工艺及工艺实施	(255)
10.1 任务描述	(255)
10.2 知识链接	(255)
10.3 任务实施	(259)
习题与思考题	(265)

模块3 机械装配工艺基础知识

项目11 机械装配工艺基础	(266)
11.1 任务描述	(266)
11.2 知识链接	(266)
11.3 任务实施	(276)
11.4 装配工艺基础综合训练	(279)
习题与思考题	(280)

模块4 先进制造技术简介

项目12 先进制造技术简介	(281)
---------------------	--------

12.1 计算机辅助工艺设计(CAPP)	(281)
12.2 计算机辅助制造(CAM)	(284)
12.3 柔性制造系统(FMS) 概述	(286)
12.4 计算机集成制造系统(CIMS)	(290)
习题与思考题	(293)
参考文献	(294)

模块 1 机械制造技术基础知识

项目 1 机械制造技术概论

1.1 机械制造技术概论

1.1.1 制造业与制造技术

1. 制造业

制造业为人类创造着辉煌的物质文明。据统计,1990年20个工业化国家制造业所创造的财富占国民生产总值(GDP)的比例平均为22.15%,其中,美国68%的财富来源于制造业,日本国民总产值的49%是由制造业提供的。中国的制造业在工业总产值中也占有40%的比例。

2. 制造技术

制造技术是使原材料变成产品的技术总称,是国民经济得以发展,也是制造业本身赖以生存的关键基础技术。先进的制造技术使一个国家的制造业乃至国民经济处于有竞争力的地位。

3. 制造系统

制造系统是指覆盖全部产品生命周期的制造活动所形成的系统,即设计、制造、装配、市场乃至回收的全过程。

在这一全过程中,所存在的物质流(主要指由原材料到产品的有形物质的流动)、信息流(主要指生产活动的设计、规划、调度与控制)及资金流(包括了成本管理、利润规划及费用流动等)构成了整个制造系统。

4. 我国制造技术与制造业

新中国成立以来,我国的制造技术与制造业得到了长足的发展,一个自立的机械工业体系基本形成。改革开放三十年来,开放与引进在一定程度上促进了我国制造业的发展及制造技术的提高,但与工业发达国家相比,我们还存在着十分明显的差距。

5. 今后我国机械工业发展的方向

(1) 制造技术向自动化、集成化和智能化的方向发展。

(2) 制造技术向高精度方向发展。

(3) 综合考虑社会、环境要求及节约资源的可持续发展的制造技术将越来越受到重视。绿色产品、绿色包装、绿色制造过程将普及。

1.1.2 机械制造(冷加工)学科的范畴、研究内容及特点

机械工程科学是一门有着悠久历史的学科,是国家建设和社会发展的支柱学科之一。

机械制造(冷加工)是机械工程的一个分支学科,是一门研究各种机械制造过程和方法的科学。

机械制造工艺过程是指改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等,使之成为成品或半成品的过程。

热加工工艺过程:包括铸造、塑性加工、焊接、热处理、表面改性等。

机械制造

工艺过程 冷加工工艺过程

零件的机械加工工艺过程:研究如何利用切削的原理使工件成形而达到预定的设计要求(尺寸精度、形状、位置精度和表面质量)。

机器的装配工艺过程:研究如何将零件或部件进行配合和连接,使之成为半成品或成品,并达到要求的装配精度的工艺过程。

1.2 本课程的研究对象、内容及学习要求

1.2.1 本课程的特点

“机械制造技术”是机械设计制造各专业的一门重要的专业核心课程。课程设置的目的是为学生在制造技术方面奠定最基本的知识和技能基础。

本课程是一门实践性很强的课程,必须有相应的实践性教学环节与之配合。

1.2.2 本课程的主要学习要求

1. 掌握金属切削的基本理论,具有根据加工条件合理选择刀具种类、刀具材料、刀具几何参数、切削用量及切削液的能力。

2. 熟悉各种机床的用途、工艺范围,具有通用机床传动链分析与调整的能力。

3. 掌握机械制造工艺的基本理论,具备制订机械加工工艺规程和装配工艺规程的能力,学会分析机械加工过程中产生误差的原因,并能针对具体工艺问题提出相应的改善措施。

4. 对机械制造技术的新发展有一定的了解。

1.2.3 本课程的学习方法

结合实践环节,按照生产环节的要求理解、学习理论知识。“优质、高产、低成本”是指导机械制造技术工作的基本原则。机械制造人员的任务就是要在给定的生产条件下,按照预定的供货日期要求,最经济地制造出具有规定质量要求的机器。学习过程中以此为主线联系各部分内容。

习题与思考题

1. 简述机械制造技术的发展概况。
2. 简述学习本课程的方法。

项目2 金属切削加工的基本知识

2.1 切削运动与切削用量

2.1.1 切削运动

切削加工时,刀具与工件之间的相对运动,称为切削运动,如图2-1所示。切削运动分为主运动和进给运动。

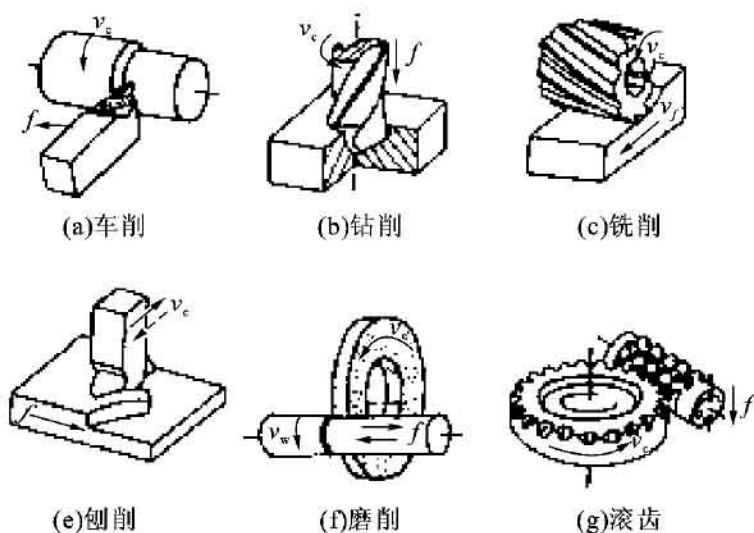


图2-1 切削运动

1. 主运动

由机床或人力提供的使刀具与工件之间产生主要的相对运动称为主运动。主运动的特点是速度最高,消耗的功率最多。在切削运动中主运动有且只有一个。例如,车削外圆时主轴带动工件的旋转运动,钻孔时钻头的旋转运动,铣平面时铣刀的旋转运动,磨外圆时砂轮的旋转运动等都是主运动。

2. 进给运动

使刀具与工件间产生附加的相对运动,促使零件表面多余金属层不断投入切削,从而加工出完整表面的运动。在切削运动中进给运动的速度较低,消耗的功率较小。例如,车外圆时车刀沿纵向的直线运动,铣平面时工件的纵向直线移动,钻孔时钻头沿轴线移动等都是进给运动。进给运动可以有一个或多个。如在磨削外圆时,就有圆周进给、轴向进给和径向进给3个进给运动。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动合成的运动即为合成切削运动,其速度和方向用 v_c 表示,如图 2-2 所示。

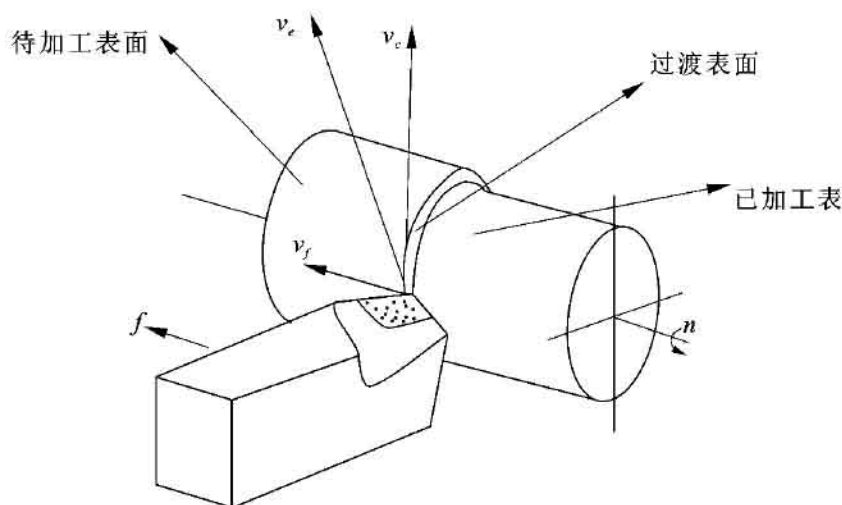


图 2-2 车削运动和工件上的表面

2.1.2 切削过程中的工件表面

在切削过程中,工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变成为切屑,因此工件上同时存在着三个不断变化着的表面,如图 2-2 所示。

(1) 待加工表面: 工件上有待切除的表面。

(2) 已加工表面: 工件上经刀具切削后形成的新表面。

(3) 过渡表面: 工件上由切削刃形成的那部分表面。当用单刃刀具切削时,它将在工件或刀具的下一转或者下一次切削中被切除(如车削、刨削),而用多刃刀具切削时,它将被随后的一个切削刃切除(如铣削)。

2.1.3 切削用量

切削用量是切削速度、进给量和背吃刀量的总称。这三者又称切削用量三要素。

(1) 切削速度 v_c

切削速度是指刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动方向的瞬时线速度,单位为 m/s 或 m/min。当主运动为旋转运动时(如车外圆),切削速度可以用式(2-1)计算,即:

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

式中: v_c ——切削速度, m/min;

d ——工件待加工表面或刀具的最大直径, mm;

n ——工件或刀具的旋转速度, r/min。

(2) 进给量 f

进给量是刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。例如,外圆车削时的进给量是工件每转一转时车刀相对于工件在进给运动方向上的位移量,其单位为 mm/r; 又如在牛头

刨床上刨削平面时,进给量是刨刀每往复一次,工件在进给运动方向上相对于刨刀的位移量,其单位为 mm。对于多刃刀具(如铣、铰、拉等),也可用每齿进给量 f_z 表示。

$$f = f_z z \quad (2-2)$$

单位时间内的进给量称为进给速度,它是切削刃选定点相对于工件进给运动的瞬时速度,用 v_f 表示,单位为 mm/min。

$$v_f = fn = f_z zn \quad (2-3)$$

式中: f ——每转进给量, mm/r;

n ——工件转速, r/min。

(3) 背吃刀量 a_p

背吃刀量是指主刀刃工作长度(在基面上的投影)沿垂直于进给运动方向上的投影值。对于外圆车削,背吃刀量 a_p 等于工件已加工表面至待加工表面间的垂直距离,单位为 mm。即:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (2-4)$$

式中: a_p ——背吃刀量, mm;

d_m ——已加工表面直径, mm;

d_w ——待加工表面直径, mm。

2.2 切削层参数与切削方式

2.2.1 切削层参数

如图 2-3 所示的外圆车削,工件转一周,车刀由位置 I 移动到位置 II,其位移量为 f ,在这一过程中,位于 DC 与 AB 之间的一层金属被切除,称为切削层金属。通过切削刃基点(通常指主切削刃工作长度的中点)并垂直于该点主运动方向的平面,称为切削层尺寸平面。在切削层尺寸平面上测得的切削层几何参数,称为切削层尺寸平面要素。

1. 切削层公称厚度 h_d

在切削层尺寸平面上垂直于切削刃的方向上测得的切削层尺寸,称为切削层公称厚度,用符号 h_d 表示,单位为 mm。切削层公称厚度代表了切削刃的工作负荷,它对切削层的变形、切削热、刀具磨损及已加工表面质量有很大的影响。

2. 切削层公称宽度 b_d

在切削层尺寸平面上,沿主切削刃方向所测得的切削层尺寸,用符号 b_d 表示,单位为 mm。切削层公称宽度通常等于切削刃的工作长度。

3. 切削层公称横截面积 A_d

指切削层尺寸平面的实际面积,用符号 A_d 表示,单位为 mm^2 。如图 2-3 所示,车外圆时, A_d 等于切削层公称厚度与切削层公称宽度的乘积,也必然等于背吃刀量与进给量的

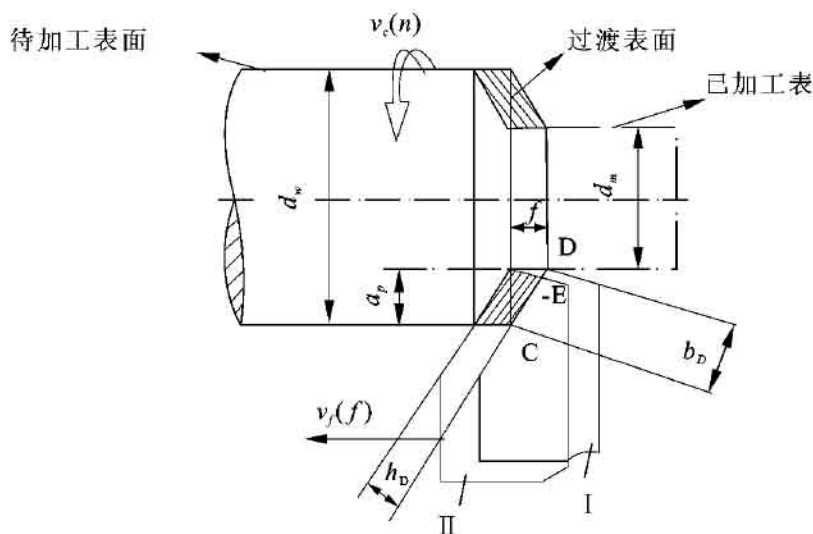


图 2-3 车削时的切削层尺寸

乘积:

$$A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot a_p \quad (2-5)$$

随着主偏角的减小,切削层横截面变得宽而薄;反之随着主偏角的增大,切削层横截面则变得厚而窄。

2.2.2 切削方式

1. 自由切削和非自由切削

刀具在切削过程中,如果只有一条切削刃参加切削工作,称为自由切削。由于没有其他切削刃参加切削,所以这时刀刃上各点切屑流出方向大致相同,被切金属的变形基本发生在一个平面内。

若刀具上的切削刃为曲线或折线,或有几条切削刃(包括主切削刃和副切削刃)同时参加切削,并同时完成整个切削过程,这种切削称为非自由切削。它的主要特征是各切削刃汇交处切下的金属互相影响和干涉,金属变形极为复杂,且发生在三个方向上。例如外圆车刀切削时除主切削刃外,还有副切削刃同时参加切削,所以它属于非自由切削方式。

2. 直角切削和斜角切削

主切削刃与切削速度方向垂直的切削,称为直角切削或正交切削。

主切削刃与切削速度方向不垂直的切削,称为斜角切削。

2.3 金属切削过程中的物理现象及规律

2.3.1 切屑的形成与类型

1. 切屑的形成过程

切削时刀具以一定的相对运动速度挤压切削层,使之产生变形、剪切滑移,成为切屑,如图 2-4 所示。切削层中某一点以切削速度 v 向切削刃接近,开始只产生弹性变形,当剪应

力达到屈服点时,产生剪切变形,剪应力达到强度极限时,开始剪切断裂而成为切屑,滑移结束,切屑沿前刀面流出。切削塑性金属时,按照切削层金属变形程度的不同,将切削区域划分为三个变形区。如图 2-4 所示。

第一变形区(Ⅰ):材料在前刀面挤压作用下,从图中 OA 线开始发生塑性变形到 OM 线,剪切滑移基本完成。这一区域是切削过程中的主要变形区,又称剪切滑移区。

切削过程中切削力和切削热主要来自这个区域。

第二变形区(Ⅱ):切屑沿前刀面排出时,紧贴前刀面的底层金属进一步受到前面的挤压阻滞和摩擦,再次剪切滑移而纤维化,使切屑底层很薄的一层金属流动迟缓。这一区域又称摩擦变形区。切屑经过这一变形区时,其底层比上层伸长得多,发生切屑卷曲。

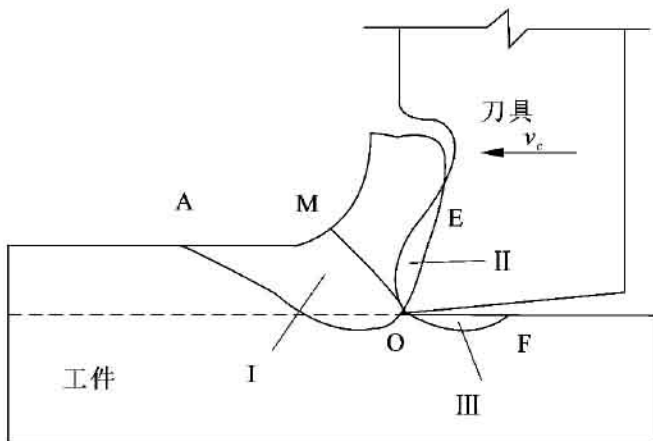


图 2-4 切屑形成及变形区

第三变形区(Ⅲ):已加工表面受到切削刃钝圆部分与后刀面的挤压、摩擦和回弹,造成已加工表面纤维化和加工硬化。第三变形区直接影响已加工表面的质量、使用性能和刀具后面的磨损。

2. 切屑的形态

由于工件材料性能和切削条件的不同,因此得到的切屑种类也不一样。按其机理可分为四大类:带状切屑、挤裂切屑、粒状切屑、崩碎切屑,如图 2-5 所示。

图 2-5 中从左至右 a、b、c、d 前三者为切削塑性材料的切屑,最后一种为切削脆性材料的切屑。

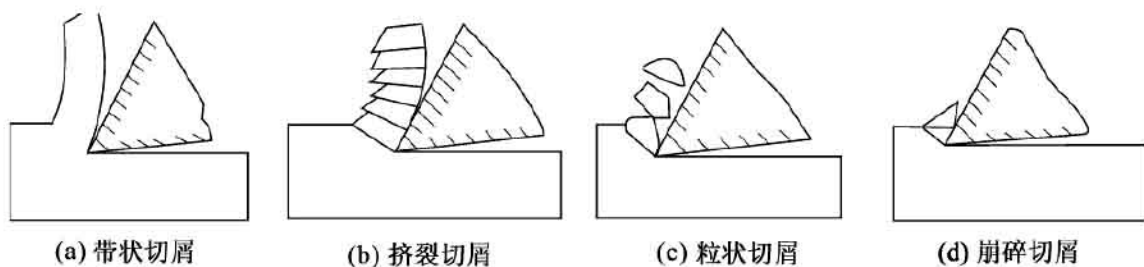


图 2-5 切屑类型

(1) 带状切屑。切屑呈带状,与前刀面接触的底面光滑,背面呈毛茸状。在使用大的刀具前角、较高的切削速度和较小的进给量切削塑性材料时,易产生此类切屑。形成带状切屑时,切削过程平稳,切削力波动小,加工表面粗糙度值较小。但切屑连续不断,缠绕在刀具和工件上,且不利于切屑的清除和运输,应采取断屑措施。

(2) 挤裂切屑。切屑背面呈锯齿状,底面有时出现裂纹。一般在用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,容易得到挤裂切屑。形成挤裂切屑时,切削力波动大,加工表面粗糙度值较大。

(3) 粒状切屑。在形成挤裂切屑的情况下,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分别挤裂,形成粒状切屑。粒状切屑比较少见,形成时切削力波动大。

(4) 崩碎切屑。切削铸铁等脆性材料时,切削层产生弹性变形后,一般不经过塑性变形就突然崩碎,切屑呈不规则的碎块。产生崩碎切屑时,切削力和切削热都集中在切削刃和刀尖附近,刀尖容易磨损,切削过程不平稳,影响表面粗糙度。

切屑的形状、断屑和卷屑的难易,主要受工件材料性能的影响,通过认识各类切屑形成的规律,采取适当措施改变切削条件就可以使切屑的变形受到控制,达到预期的效果。

2.3.2 切屑变形及其影响因素

影响切屑变形的主要因素很多,现在从以下四个方面来揭示它们对切屑变形的影响规律,以便加以控制,使切削效率、加工精度和表面质量得以提高。

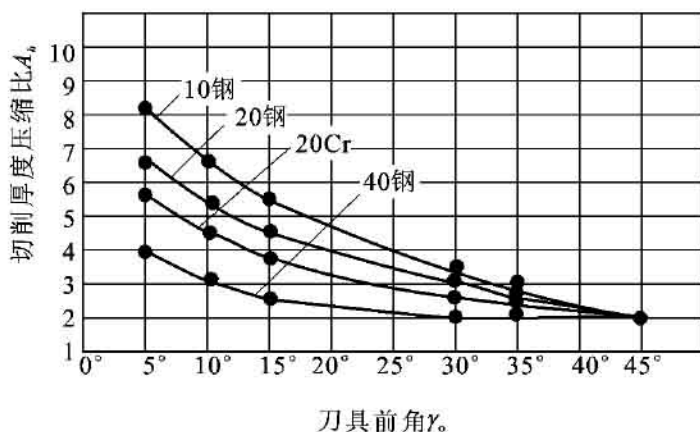


图 2-6 工件材料和刀具前角对变形的影响

1. 工件材料

工件材料强度、硬度越高,切屑变形越小。如图 2-6 所示。在相同的切削条件下工件材料的塑性越大,切屑变形就越大。如不锈钢和 45 钢的强度近似,但前者延伸率大的多,所以切削时的切屑变形比后者大,且易粘刀,不易断屑。

2. 刀具前角 γ_0

刀具前角 γ_0 越大,切屑变形越小。当前角增大时,切屑流出时阻力小,可减小切屑变形。

3. 切削速度

切削速度是通过切削温度和积屑瘤影响切屑变形的。在切削 45 钢时,从试验求得切削速度对切屑变形的影响如图 2-7 所示。

当产生了积屑瘤时,随着切削速度的提高,温度升高,粘结逐渐严重,积屑瘤高度逐渐增大,使刀具实际前角相应增大,切屑厚度压缩比 A_h 减小;切削速度为 20m/min 左右时积屑瘤高度达最大值;当切削速度超过 40m/min 而继续提高,由于温度升高,摩擦系数 μ 降低使 A_h 减小;在高速时,切削层来不及重复变形已被切离,所以 A_h 很小。

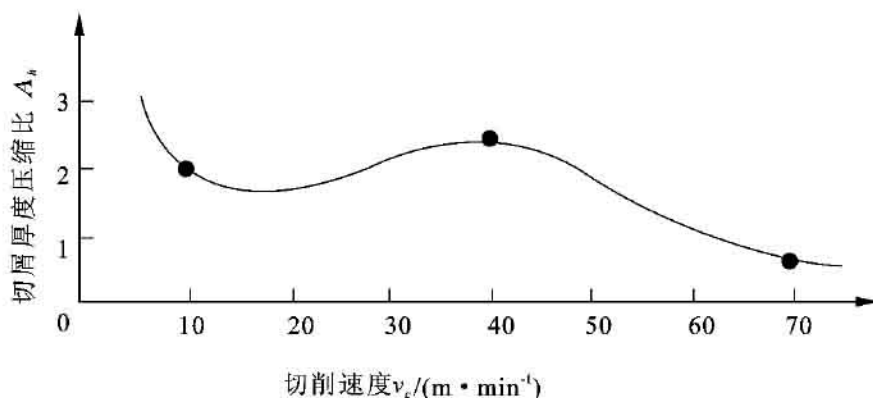
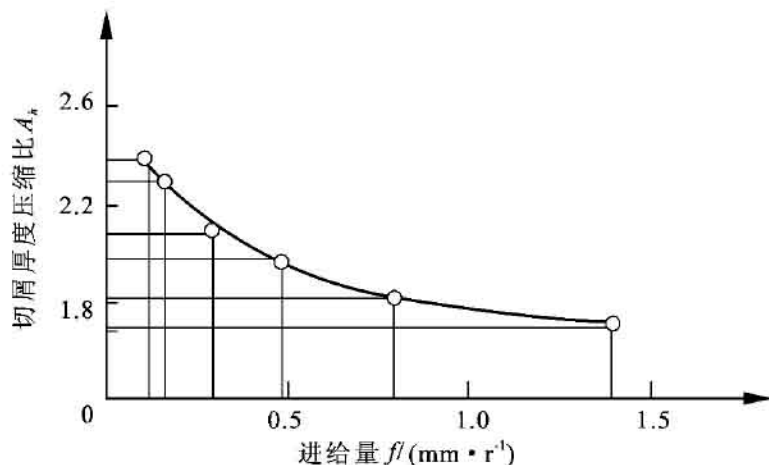


图 2-7 切削速度对切削变形的影响

加工条件: 工件材料 45 号钢、W18Cr4V, $\gamma_0 = 5^\circ$, $f = 0.23 \text{ mm/r}$

4. 进给量

图 2-8 为进给量对切屑厚度压缩比的影响规律。当进给量增大时切削厚度随之增大切屑变形减小。反之切屑越薄变形量越大。

图 2-8 进给量 f 对 A_h 的影响

加工条件: 工件材料 45 号钢、W18Cr4V, $\gamma_0 = 5^\circ$, $f = 0.23 \text{ mm/r}$

2.3.3 积屑瘤的产生及影响

如图 2-9 所示切削塑性材料时,在一定的切削条件下,切削刃附近的前刀面上会堆积黏附着一块楔形金属,这块金属称为积屑瘤。它是在第 II 变形区内,由摩擦和变形形成的物理现象。图 2-9(b) 是积屑瘤的外形尺寸。

1. 积屑瘤对切削加工的影响

(1) 对刀具强度的影响。由于积屑瘤的硬度很高(为工件硬度的 2~3.5 倍),附着在切削刃及前刀面上,可代替切削刃进行切削,起到了保护刀面、减少刀具磨损、增强切削刃的作用。

(2) 对切削力的影响。积屑瘤粘结在前刀面上,增大了刀具的实际前角,可使切削力减小,因此,在粗加工中,可利用它来保护切削刃。

(3) 对已加工表面的影响。由于积屑瘤是不稳定的,时生时灭,会造成切削厚度的波动,这将影响工件的尺寸精度,而且其碎片随机性散落,可能会黏附在已加工表面上,从而会使

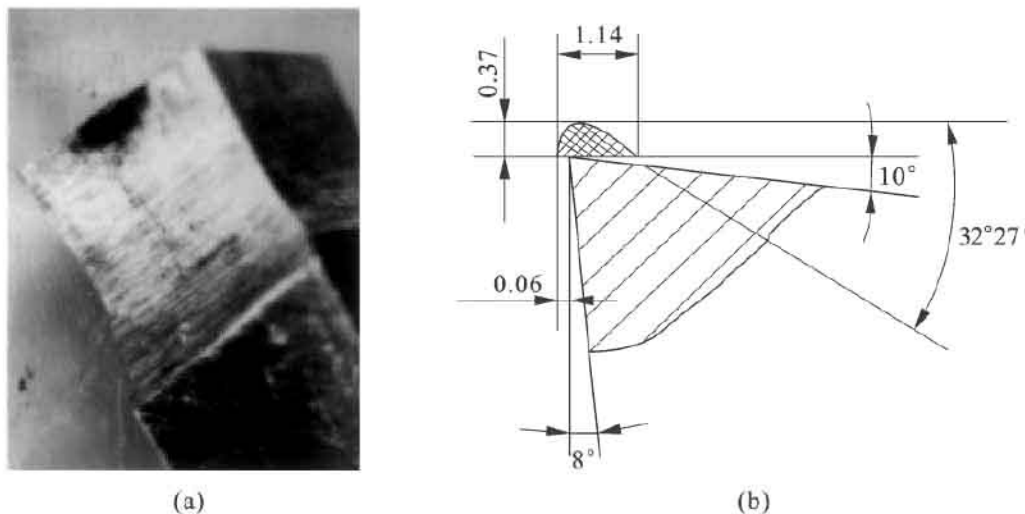


图 2-9 积屑瘤

加工条件: 工件材料 45 号钢、W18Cr4V, $\gamma_0 = 5^\circ$, $f = 0.23 \text{ mm/r}$

已加工表面变得粗糙。因此,在精加工时应避免形成积屑瘤。

(4) 对工件尺寸的影响。由于积屑瘤突出于切削刃之外,实际切削厚度增大,形成过切现象,影响工件的尺寸精度。

2. 积屑瘤的控制措施

当工件材料一定时,影响积屑瘤形成的主要因素有切削速度、进给量、刀具材料、刀具前角及切削液等,可以采用以下措施避免形成积屑瘤。

- (1) 降低工件材料的塑性,提高硬度,可减少黏结,抑制滞流层的形成;
- (2) 增大刀具前角,可减小刀具前面和切屑之间的压力,减小切削变形和降低切削温度,抑制积屑瘤;
- (3) 控制切削速度,采用低速或高速切削,避开产生积屑瘤的速度范围;
- (4) 适当地使用切削液可以降低切削温度、减少摩擦,有利于防止积屑瘤的产生。

2.3.4 切削力及其影响因素

1. 切削力的产生

切削力是切削过程中作用在刀具与工件上的力。它直接影响工件质量、刀具寿命和机床动力消耗等。切削过程中的能量主要消耗在克服切削变形时产生的抗力,克服刀具前刀面和切屑之间的摩擦阻力以及刀具后刀面和工件之间的摩擦阻力。这些抗力和阻力构成了切削过程中的总切削力,用 F 表示。为了便于分析,可以把作用在刀具上的总切削力 F 分解成三个相互垂直的切削分力,如图 2-10 所示。

主切削力 F_c ——在主运动速度方向的分力。

背向力 F_p ——在垂直于进给方向的分力。它是计算工艺系统刚度的主要依据,容易引起工件变形;

进给力 F_f ——在进给运动方向的分力。它在基面内与进给运动方向平行。进给力作用于机床的进给机构上,是验证进给系统零件强度和刚度的依据。