



普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材



机械制造技术基础

贾振元 王福吉 主 编



科学出版社

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

机械制造技术基础

贾振元 王福吉 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材之一,是根据全国机械类专业教学指导委员会制订的指导性专业培养计划规定的教学大纲编写而成的。全书内容包括机械加工方法与切削机床、金属切削原理与刀具、机械加工与装配工艺规程制订、机床夹具设计原理、机械加工精度、机械加工的表面质量和机械加工中的振动。全书侧重机械制造方面的基础知识、基本原理和方法,从易到难,以机械加工方法、切削机床和刀具结构为起点,以工艺规程和夹具设计为基本技能,最终归纳到机械加工精度、表面质量上。做到以工艺为基础,以加工质量为重点,围绕质量、生产率、经济性问题,注重体现当代科学技术的发展、多学科间的知识交叉与渗透,注重培养学生科学的思维方法,从而提高学生综合运用知识解决实际问题的能力。

本书可作为高等院校机械类专业主干技术基础课程教材,也可作为职业技术院校、成人高校等相关专业的教材或参考书,还可供机械制造工程技术人员、机械制造企业管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/贾振元,王福吉主编. —北京:科学出版社, 2011.2

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-030124-6

I. ①机… II. ①贾…②王… 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(2011)第 014447 号

责任编辑:毛莹 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年2月第一次印刷 印张:22

印数:1—4 000 字数:510 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

为适应宽口径机械类人才培养模式的需要,全国机械类专业教学指导委员会制订了新的指导性专业培养计划,将“机械制造技术基础”课程推荐为工科机械类各专业必修的专业技术基础课程,用以取代原教学计划中的部分专业技术基础课程和专业课程。因此,“机械制造技术基础”课程涵盖了原教学体系中的“金属切削原理”、“金属切削刀具设计”、“金属切削机床概论”和“机械制造工艺学”等课程的主要内容,并按照“重基础、少学时、新知识、宽面向”的原则进行整合。机械类专业的学生通过学习本书,系统掌握机械加工工艺与技术方面所必需的专业基础知识和基本理论,从而使“机械制造技术基础”课程成为整个机械大类本科教学体系中起承前启后作用的重要专业技术基础课程。

本书侧重机械制造方面的基础知识、基本原理和方法,从易到难,以机械加工方法、刀具结构和切削机床为切入点,以工艺规程和夹具设计为基本技能,最终归纳到机械加工精度、表面质量上。从而做到以工艺为基础,以加工质量为重点,围绕质量、生产率、经济性问题,注重体现当代科学技术的发展、多学科间的知识交叉与渗透,注重培养学生科学的思维方法,以提高学生综合运用知识解决实际问题的能力。本书的编写力求做到章节编排合理,内容完整精炼、系统性强,讲解深入浅出,图解丰富,使教材内容与相关实践性教学环节密切配合、紧密联系。

参加编写本书的教师大多有多年从事机械制造工艺、金属切削原理与刀具、金属切削机床概论、机床夹具设计等课程的课堂教学经历,以及课程实验、课程设计、金工实习、认识实习和生产实习、毕业设计等实践环节的教学经历。并具有丰富的教学经验,通过多年的教学实践,就如何提高“机械制造技术基础”课程的教学效果,针对教学内容、教材组织、教学思维、教学方式、评价体系等方面进行了探讨与实践,从中得到很多体会,取得很多经验,也产生了很多新想法。本书是编者在总结多年的教学研究、教学改革和教学实践的基础上编写的。全书由贾振元、王福吉主编,第1章、第3章由贾振元编写,第2章由董海、王敏杰编写,第4章由曹利新编写,第5章、第6章由王福吉编写,第7章由刘巍编写。

本书内容充分参考了陈懋圻教授主编的《机械制造工艺学》,在此编者对机械工程领域的老前辈陈懋圻教授致以崇高的敬意,谨以此书敬献给已故的陈懋圻教授。本书编写过程中的文字和图表整理工作得到了阳江源、宗福才、杜长江、何威、张智聪、王浩然、李安超、贾旭、陈峰、王沙沙、郑秀艳等硕士研究生的帮助,对他们的辛勤工作表示衷心的感谢!在夹具设计编写过程中得到大连高金数控集团张允良的支持,在此一并致谢!

编写过程中,由于编者水平有限,编写时间也较为仓促,书中难免存在疏漏及不当之处;为了提高教材质量,恳请使用本书的读者多提宝贵意见,以便再版时加以改进。

编 者

2010年9月

目 录

前言

第 1 章 机械加工方法与切削机床	1
1.1 传统切削加工方法与切削机床	1
1.1.1 车削与车床	1
1.1.2 铣削与铣床	4
1.1.3 刨削与刨床	9
1.1.4 钻削与钻床	11
1.1.5 镗削加工与镗床	15
1.1.6 磨削加工与磨床	18
1.2 曲面加工方法与加工机床.....	23
1.2.1 齿面加工与加工机床	23
1.2.2 复杂曲面加工与加工中心.....	32
1.3 特种加工方法与加工机床.....	33
1.3.1 电火花加工	34
1.3.2 电解加工.....	36
1.3.3 激光加工.....	37
1.3.4 超声波加工	38
1.4 金属切削机床基础.....	40
1.4.1 概述	40
1.4.2 金属切削机床的主要部件.....	46
1.5 现代机床的发展.....	62
1.5.1 数控机床.....	62
1.5.2 加工中心.....	64
思考与练习	66
第 2 章 金属切削原理与刀具	68
2.1 刀具的结构.....	68
2.1.1 切削运动与切削要素	68
2.1.2 刀具角度.....	71
2.2 刀具材料.....	78
2.2.1 刀具材料应具备的性能	78
2.2.2 常用的刀具材料	78
2.3 金属切削过程及其物理现象.....	81
2.3.1 国内外切削理论研究概述.....	81
2.3.2 研究金属切削过程的实验方法	81

2.3.3 变形区的划分	82
2.3.4 变形区基本特征	83
2.3.5 变形程度的表示方法	83
2.3.6 切屑的类型及其控制	85
2.3.7 积屑瘤现象	87
2.4 切削力与切削功率	88
2.4.1 切削力的来源、切削合力及其分解、切削功率	88
2.4.2 切削力的测量	89
2.4.3 切削力的经验公式和切削力估算	90
2.4.4 影响切削力的因素	92
2.5 切削热和切削温度	100
2.5.1 切削热的产生和传导	100
2.5.2 切削温度的测量	101
2.5.3 影响切削温度的主要因素	101
2.5.4 切削温度的分布规律及其对工件、刀具和切削过程的影响	103
2.6 刀具磨损与刀具寿命	104
2.6.1 刀具磨损的形态及其原因	104
2.6.2 刀具磨损过程	107
2.6.3 刀具的磨钝标准	108
2.6.4 刀具寿命及其经验公式	108
2.6.5 刀具合理耐用度的选用原则	109
2.7 工件材料切削加工性及切削用量的选择	110
2.7.1 工件材料的切削加工性	110
2.7.2 切削用量的选择	111
思考与练习	113
第3章 机械加工与装配工艺规程制订	115
3.1 概述	115
3.1.1 生产过程与工艺过程	115
3.1.2 机械加工工艺过程的组成	115
3.1.3 加工工艺规程的内容和作用	117
3.1.4 制订工艺规程的指导思想	118
3.1.5 生产类型对工艺过程的影响	118
3.1.6 制订工艺规程的步骤及内容	120
3.2 零件的结构工艺性及毛坯的选择	122
3.2.1 结构工艺性	122
3.2.2 毛坯的选择	124
3.2.3 毛坯的种类	124
3.3 基准及其选择	127
3.3.1 工件的装夹方法	127

3.3.2 基准及其分类	128
3.3.3 粗基准的选择	130
3.3.4 精基准的选择	134
3.4 加工工艺路线的拟订	141
3.4.1 加工方法的选择	141
3.4.2 工序顺序的安排	147
3.4.3 工序的分散与集中	149
3.5 加工余量及工序尺寸、公差의 制订	150
3.5.1 加工余量的含义	150
3.5.2 加工余量的确定	151
3.5.3 工序尺寸及其公差의 确定	153
3.6 尺寸链及其应用	154
3.6.1 尺寸链的定义及组成	154
3.6.2 尺寸链的计算方法	155
3.6.3 工艺尺寸链的应用	157
3.7 时间定额和提高生产效率的工艺措施	160
3.7.1 时间定额的组成	160
3.7.2 提高劳动生产率的工艺措施	161
3.8 工艺过程方案的技术经济分析	164
3.9 制订工艺规程的实例——床头箱体的加工	166
3.9.1 零件的结构特点和技术要求分析	166
3.9.2 定位基准的选择	169
3.9.3 工艺路线的制订	170
3.9.4 孔系的加工	171
3.9.5 CA6140 床头箱体的加工	173
3.10 装配工艺及装配尺寸链	174
3.10.1 概述	174
3.10.2 装配精度	176
3.10.3 装配尺寸链的组成和查找方法	176
3.10.4 互换装配法	179
3.10.5 选择装配法	182
3.10.6 修配装配法	184
3.10.7 调节装配法	185
3.11 装配工艺规程的制订	187
3.11.1 机器的组成和装配工艺系统图	187
3.11.2 结构的装配工艺性	187
3.11.3 装配工艺规程的制订	187
思考与练习	191

第4章 机床夹具设计原理	193
4.1 机床夹具的概述	193
4.1.1 机床夹具的定义	193
4.1.2 工件的安装	193
4.1.3 夹具的组成	195
4.1.4 夹具的作用	196
4.1.5 夹具的分类	197
4.2 工件的定位	198
4.2.1 定位与基准	198
4.2.2 定位原理	198
4.2.3 定位的正常情况和非正常情况	201
4.3 典型的定位方式、定位元件及定位装置	204
4.3.1 定位元件的要求	204
4.3.2 常见的定位方式及定位元件	204
4.4 定位误差	218
4.4.1 与夹具有关的误差	218
4.4.2 定位误差	219
4.5 工件的夹紧	222
4.5.1 夹紧机构的组成	222
4.5.2 夹紧机构的基本要求与设计原则	222
4.5.3 夹紧力的确定	225
4.6 夹紧机构	226
4.6.1 斜楔夹紧机构	226
4.6.2 螺旋夹紧机构	227
4.6.3 偏心夹紧机构	228
4.6.4 铰链夹紧机构	230
4.6.5 联动夹紧机构	231
4.7 夹具的动力装置	231
4.7.1 气动夹紧	232
4.7.2 液压夹紧	234
4.7.3 气-液联合夹紧	234
4.7.4 电磁夹紧	234
4.8 夹具的其他装置	235
4.8.1 孔加工刀具的导向装置	235
4.8.2 对刀装置	237
4.8.3 分度装置	238
4.8.4 夹具在机床上的定位	238
4.9 夹具设计的方法及步骤	239
4.9.1 设计前的准备工作	240

4.9.2 夹具总体方案的确定	241
4.9.3 夹具装配草图的绘制	242
4.9.4 夹具精度的验算	244
4.9.5 绘制夹具的装配图及零件图	246
思考与练习	246
第5章 机械加工精度	249
5.1 机械加工精度概述	249
5.1.1 精度的概念	249
5.1.2 获得加工精度的方法	249
5.1.3 影响加工精度的因素	252
5.2 工艺系统的制造精度和磨损对工件精度的影响	253
5.2.1 机床主轴的回转精度及其对工件精度的影响	253
5.2.2 移动部件的直线运动精度对工件精度的影响	261
5.2.3 机床的几何精度对加工精度的影响	263
5.2.4 机床的传动精度及其对工件精度的影响	264
5.2.5 机床的定位精度对工件精度的影响	265
5.2.6 刀、夹、量具的制造精度和磨损对工件精度的影响	268
5.3 工艺系统的受力变形及其对工件精度的影响	270
5.3.1 基本概念	270
5.3.2 机床部件刚度特点及影响因素	272
5.3.3 工艺系统的刚度	275
5.3.4 工艺系统的变形对加工精度的影响	276
5.3.5 机床刚度的测定	279
5.3.6 提高工艺系统刚度的措施	281
5.4 工艺系统的热变形及其对工件精度的影响	283
5.4.1 工艺系统热源与热平衡	283
5.4.2 机床热变形对加工精度的影响	284
5.4.3 工件热变形对加工精度的影响	287
5.4.4 刀具热变形对加工精度的影响	288
5.4.5 减少工艺系统热变形办法	288
5.5 保证和提高加工精度的途径	288
5.5.1 直接消除或减小原始误差	288
5.5.2 补偿或抵消原始误差	289
5.5.3 变形转移或误差转移的方法	289
5.5.4 就地加工达到最终精度的方法	290
5.6 加工误差的统计分析法	290
5.6.1 概述	290
5.6.2 分布图分析法	291
5.6.3 分布图的作用和缺点	294

5.6.4 正态分布图的应用	295
5.7 点图分析法	295
5.8 质量管理图	297
思考与练习	299
第6章 机械加工的表面质量	301
6.1 零件表面质量对使用性能的影响	301
6.2 机械加工表面粗糙度的影响因素及其改进措施	305
6.2.1 切削加工	305
6.2.2 磨削加工	309
6.3 工件表面层的加工硬化和金相组织的变化及其影响因素	312
6.3.1 表面层的加工硬化(强化)	312
6.3.2 淬火零件的磨削烧伤	314
6.4 表面层的残余应力及强化工艺	318
6.4.1 工件表面层的残余应力	318
6.4.2 表面强化工艺	320
思考与练习	324
第7章 机械加工中的振动	325
7.1 机械加工中振动的基本概念	325
7.1.1 机械加工中振动的基本类型	325
7.1.2 工艺系统的动刚度和动柔度	326
7.2 切削过程中的颤振	326
7.2.1 再生颤振原理	327
7.2.2 振型耦合颤振原理	330
7.2.3 刀具的高频颤振	332
7.3 减小振动、提高稳定性的工艺途径	333
7.3.1 机械加工中的强迫振动及其减小途径	333
7.3.2 减小或消除切削颤振的工艺途径	333
7.3.3 提高工艺系统的抗振性和采用减振装置消除振动	337
思考与练习	339
参考文献	340

第 1 章 机械加工方法与切削机床

机械加工获得符合尺寸和形状要求的零件是通过机床利用刀具将毛坯上多余的材料切除来获得的。在机械加工中，常用的加工方法有车削、铣削、刨削、钻削、镗削、磨削、扩削、拉削及特种加工等。上述诸种加工方法尽管在加工原理方面有许多共同之处，但是，由于所用机床、刀具及切削运动各有差异，因此它们在工艺特点及应用上也有很多不同之处。深入地了解各种加工方法的工艺特点，对正确地选择加工方法具有重要的意义。

1.1 传统切削加工方法与切削机床

1.1.1 车削与车床

1. 车削加工

工件旋转作主运动、车刀作进给运动的切削加工方法称为车削加工。车削加工可以在卧式车床、立式车床、转塔车床、仿形车床、自动车床、数控车床，以及各种专用车床上进行。采用车削加工的主要表面有内外圆柱面、内外圆锥面、螺纹、沟槽、端平面、成形面、偏心轴、单头或多头蜗杆等。如图 1.1 所示，车削方法的特点是工件旋转，形成主切削运动，因此车削加工后形成的面主要是回转表面。车削也可加工工件的断面。通过刀具相对工件实现不同的进给运动，可以获得不同的工件形状。当刀具沿平行于工件旋转轴线运动时，形成内外圆柱面；当刀具沿与轴线相交的斜线运动时，形成锥面。仿形车床或数控车床，可以控制刀具沿着一条曲线进给，从而形成特定的旋转曲面。采用成形车刀横向进给时，也可加工出旋转曲面来。普通车削加工精度一般为 IT8~IT7，表面粗糙度 R_a 为 $6.3\sim 1.6\mu\text{m}$ 。精车时，加工精度可达 IT6~IT5，表面粗糙度 R_a 可达 $0.4\sim 0.1\mu\text{m}$ ，超精密车削表面粗糙度 R_a 可达 $0.04\mu\text{m}$ 。

车削加工的工艺特点如下：

(1) 适用范围广泛。车削是轴、盘、套等回转体零件广泛采用的加工工序。

(2) 易于保证被加工零件各表面的位置精度。一般短轴类或盘类零件利用卡盘装夹，长轴类零件可利用中心孔装夹在前后顶尖之间，而套类零件，通常安装在心轴上。当在一次装夹中，对各外圆表面进行加工时，能保证同轴度要求。调整车床的横拖板导轨与主轴回转轴线垂直时，在一次装夹中车出的端面，还能保证与轴线垂直。

(3) 可用于有色金属零件的精加工。当有色金属零件的精度较高、表面粗糙度 R_a 值较小时，若采用磨削，易堵塞砂轮，加工较为困难，故可由精车完成。若采用金刚石车刀，以很小的切削深度 ($a_p < 0.15\text{mm}$)、进给量 ($f < 0.1\text{mm/r}$) 及很高的切削速度 ($v \approx 5\text{m/s}$) 精车，可获得很高的尺寸精度 (IT6~IT5) 和很小的表面粗糙度 R_a 值 ($0.8\sim 0.1\mu\text{m}$)。

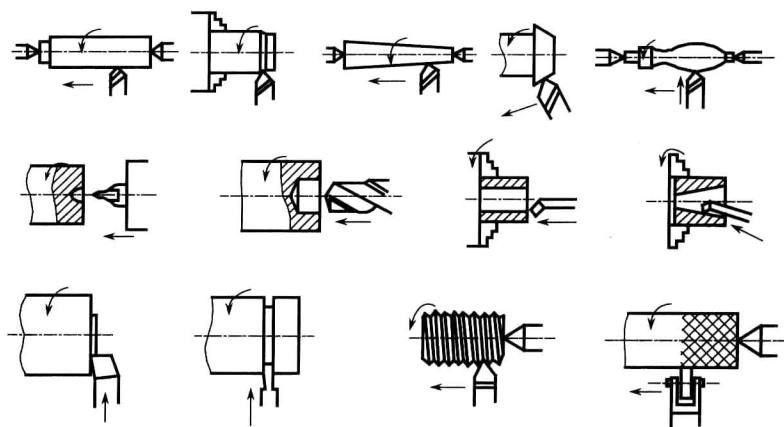


图 1.1 车床加工的典型工序

(4) 切削过程比较平稳。除了车削断续表面之外，一般情况下车削过程是连续进行的，且切削层面积不变（不考虑毛坯余量不均匀），所以切削力变化小，切削过程平稳。又由于车削的主运动为回转运动，避免了惯性力和冲击力的影响，所以车削允许采用大的切削用量，进行高速切削或强力切削，这有利于生产效率的提高。

(5) 生产成本较低。车刀结构简单，制造、刃磨和安装方便。车床附件较多，可满足常见零件的装夹，生产准备时间较短，加工成本低，既适宜单件小批量生产，也适宜大批量生产。

(6) 加工的万能性好。车床上通常采用顶尖、三爪卡盘和四爪卡盘等装夹工件，也可通过安装附件来支承和装夹工件，扩大车削的工艺范围。

对于单件小批量生产各种轴、盘、套类零件，常选择用途广泛的卧式车床或数控车床。对直径大而长度短（长径比 $L/D \approx 0.3 \sim 0.8$ ）和重型零件，多选用立式车床。成批生产外形较复杂，且有内孔及螺纹的中小型轴、套类零件，可选用转塔车床进行加工。大批量生产形状简单的小型零件，可选用半自动或自动车床，以提高生产效率，但应注意这种加工方法的精度较低。

2. 车床

车床的种类很多，按其结构和用途，可分为卧式车床、立式车床、转塔车床、自动和半自动车床、仿形车床、数控车床和车削中心等。此外在大批量生产中还使用各种专用车床。

1) CA6140 型卧式车床

CA6140 为典型的卧式车床，其通用程度高，加工范围广，适用于中、小型的轴类和盘套类零件加工；可车削内外圆柱面、圆锥面、各种环槽、成形面及端面；能车削常用的米制、英制、模数制及径节制四种标准螺纹；也可以车削加大螺距螺纹、非标准螺距及较精密的螺纹；还可以进行钻孔、扩孔、铰孔、滚花和压光等工作。

如图 1.2 所示，为 CA6140 型卧式车床的外观图，它由主轴箱、进给箱、溜板箱、床鞍、刀架、尾座和床身等部件组成。主轴箱内装有主轴和变速、变向等机构，由电

动机经变速机构带动主轴旋转, 实现主运动, 并获得所需转速及转向, 主轴前端可安装卡盘等夹具, 用以装夹工件。进给箱的作用是改变切削进给的进给量或被加工螺纹的导程。溜板箱的作用是将进给箱传来的运动传递给刀架, 使刀架实现纵向进给、横向进给、快速移动或车螺纹。床鞍位于床身的中部, 其上装有中滑板、回转盘、小滑板和刀架。刀架用以夹持车刀, 并使其作纵向、横向或斜向进给运动。尾座安装在床身的尾座导轨上, 其上的套筒可安装顶尖或各种孔加工刀具, 用来支承工件或对工件进行孔加工。床身是车床的基本支承件。车床的主要部件均安装在床身上, 并保持各部件间具有准确的相对位置。

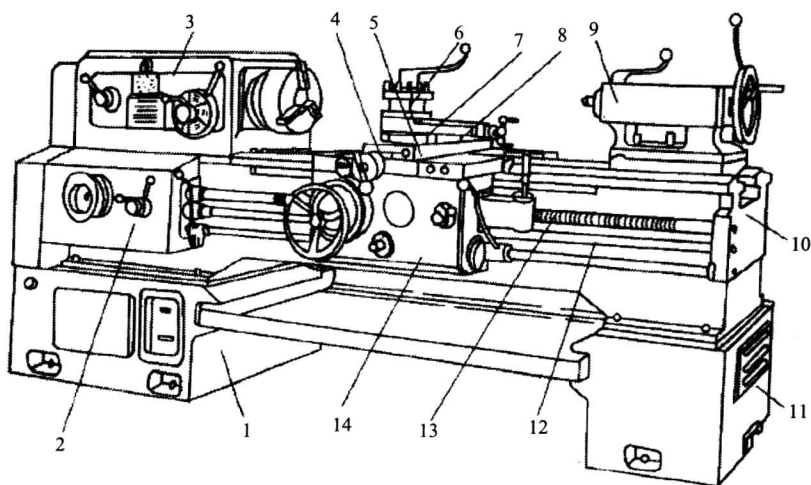


图 1.2 CA6140 型卧式车床外观图

1、11-床腿；2-进给箱；3-主轴箱；4-床鞍；5-中滑板；6-刀架；7-回转盘；8-小滑板；
9-尾座；10-床身；12-光杠；13-丝杠；14-溜板箱

2) 立式车床

立式车床主要用于加工径向尺寸大而轴向尺寸较小、且形状比较复杂的大型或重型零件, 按其结构形式可分为单柱式和双柱式两种。立式车床结构上的主要特点是主轴垂直布置, 并有一个直径很大的圆工作台, 用以放置工件。立式车床的工作台处于水平位置, 因此对笨重工件的装卸和找正都比较方便, 工件和工作台的重量比较均匀地分布在导轨面和推力轴承上, 有利于保持机床的工作精度和提高生产率。

3) 转塔车床

转塔车床是在卧式车床的基础上发展起来的, 它与卧式车床在结构上的主要区别是没有尾座和丝杠, 在床身尾部装有一个能纵向移动的多工位刀架。根据工件的加工工艺要求, 预先将所用的全部刀具安装在转塔车床上, 每组刀具的行程终点位置由可调整的挡块控制。加工时, 多工位刀架周期转位, 使这些刀具依次对工件进行切削加工。因此, 在成批加工复杂工件时, 转塔车床的生产率比卧式车床高。由于转塔车床上安装的刀具较多, 故适于加工形状比较复杂的小型棒料工件。由于它没有丝杠, 一般不能车螺纹, 只能用板牙或丝锥来加工螺纹。图 1.3 所示为在转塔车床上加工的典型零件。图 1.4 是一台普通转塔车床外形图。前刀架可沿床身作纵向进给, 以切削大直径外圆柱面, 也可作横向进给,

以切削内外端面、沟槽等。转塔刀架只能作纵向运动，转塔的六角面上可利用附具分别安装挡料块、车刀、钻头、铰刀、板牙等切削刀具和工具，也可在一个附具上安装数把车刀以实现多刀同时加工。

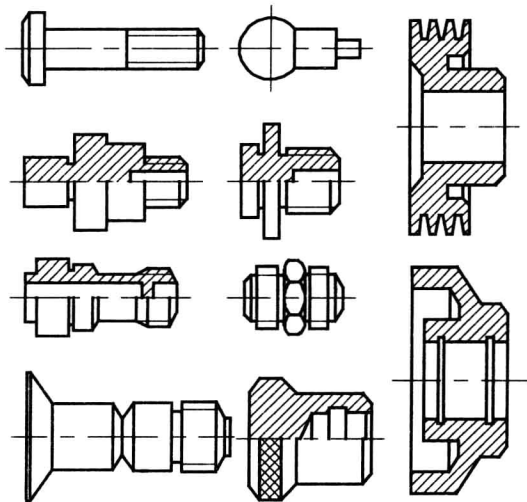


图 1.3 转塔式车床上加工的典型零件

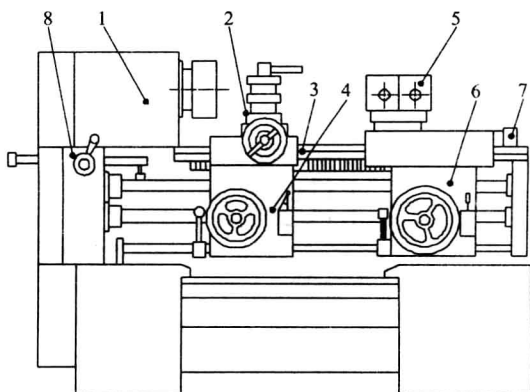


图 1.4 普通转塔车床外形图

1-主轴箱；2-前刀架；3-床身；4-前刀架溜板箱；
5-转塔刀架；6-转塔刀架溜板箱；7-定程装置；8-进给箱

1.1.2 铣削与铣床

1. 铣削加工

铣刀旋转作主运动，工件作进给运动的切削加工方法称为铣削加工。铣削加工使用的机床称为铣床，最常用的有立式铣床、卧式铣床和龙门铣床三类，此外还有工具铣床和仿形铣床等。

铣削主要用于加工平面（水平面、垂直面、斜面）、沟槽、复杂曲面（成形或球头铣刀的成形运动），以及进行孔的加工（铣孔和钻孔、扩孔、铰孔）等。普通铣削一般只能加工平面；用成形铣刀可以加工出特定的曲面，如铣削齿轮等；数控铣床可控制几个轴按一定的关系联动，铣出复杂曲面，这时刀具一般采用球头铣刀。

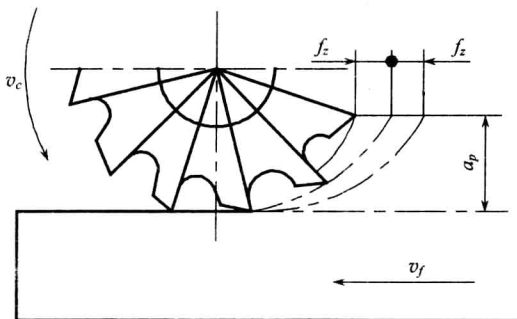


图 1.5 铣削加工

铣削的刀具比较复杂，一般为多刃刀具，需要专门的厂家制作。提高铣刀的转速可以获得较高的切削速度，因此生产率较高。但是由于铣刀刀齿的切入、切出会形成冲击，易产生振动，因而限制了表面质量的提高，同时也加剧了刀具的磨损和破损。常用的铣刀有圆柱形铣刀、面铣刀、立铣刀、三面刃铣刀、角度铣刀和锯片铣刀等。

如图 1.5 所示，铣削的主切削运动是刀具的旋转运动，工件装夹在机床的工作台上

完成进给运动。不同的铣削方法，铣刀完成切削的切削刃不同。卧铣时，平面是由铣刀的周刃形成的；立铣时，平面是由铣刀的端面刃形成的。

铣削是平面加工的主要方法之一，平面铣削有端铣（face milling）和周铣（peripheral milling）两种方式。利用铣刀端部齿切削的称为端铣（图 1.6（a）），利用铣刀圆周齿切削的称为周铣（图 1.6（b）），其中周铣又分为逆铣和顺铣。端铣与周铣加工特点比较如下。

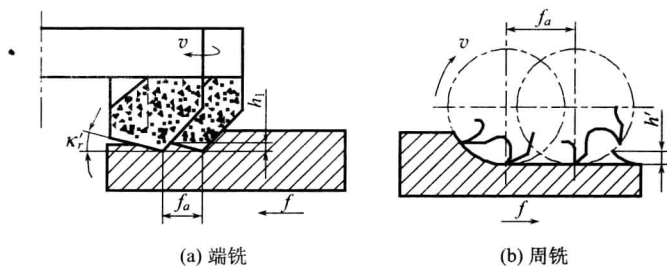


图 1.6 端铣和周铣

1) 端铣

(1) 端铣的生产率高于周铣。端铣用的端铣刀大多数镶有硬质合金刀头，且刚性较好，可采用大的铣削用量。周铣用的圆柱铣刀多用高速钢制成，其刀和轴的刚性又较差，使铣削用量和铣削速度受到很大的限制。

(2) 端铣的加工质量比周铣好。端铣时可利用副切削刃对已加工表面进行修光，只要选取合适的副偏角，可减少残留面积，减小表面粗糙度。周铣时只有圆周刃切削，已加工表面实际上是由许多圆弧组成，表面粗糙度较大。

2) 周铣

周铣的适应性比端铣好。周铣能用多种铣刀铣削平面、沟槽、齿形和成形面等，适应性较强。而端铣只适宜端铣刀或立铣刀端面刃切削的情况，只能加工平面。

按照铣削时，主切削运动速度方向与工件进给运动方向的不同，周铣可分为顺铣和逆铣，如图 1.7 所示。

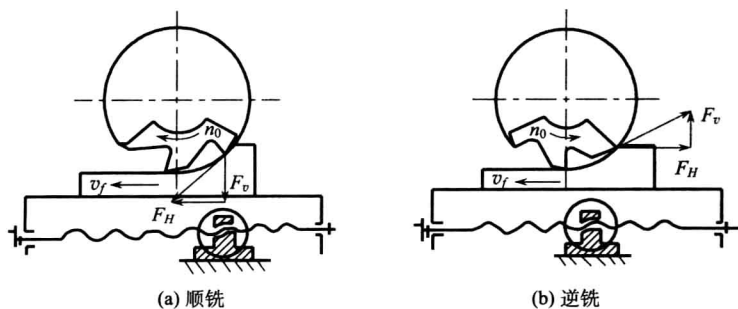


图 1.7 顺铣和逆铣

(1) 顺铣时，铣削力的水平分力与工件的进给方向相同，而工作台进给丝杠与固定螺母之间一般又有间隙存在，因此切削力容易引起工件和工作台一起向前窜动，使进给量突

然增大,容易引起打刀。逆铣则可以避免这一现象,故生产中多采用逆铣。在顺铣铸件或锻件等表面有硬皮的工件时,铣刀齿首先接触工件的硬皮,加剧了铣刀的磨损,逆铣则无这一缺点。

(2) 逆铣时,铣削力的水平分力与工件进给方向相反。在逆铣时,切削厚度从零开始逐渐增大,因而切削刃开始切削时将经历一段在切削硬化的已加工表面上挤压滑行过程,也会加速刀具的磨损。同时,逆铣时,铣削力将工件上抬,容易引起振动,这是逆铣的不利之处。

综上所述,端铣的加工质量好,在大平面的铣削中目前大都采用端铣;周铣的适应性较强,多用于小平面、各种沟槽和成形面的铣削。

铣削加工的工艺特点如下:

(1) 生产率较高。铣刀是典型的多齿刀具,铣削时有几个刀齿同时参加工作,并可利用硬质合金镶片铣刀,有利于采用高速进行铣削,且切削运动是连续的,因此与刨削加工相比,铣削加工的生产率较高。

(2) 刀齿散热条件较好。铣刀刀齿在切离工件的一段时间内可得到一定程度的冷却,有利于刀齿的散热。但由于刀齿的间断切削,每个刀齿在切入及切出工件时,不但受到冲击力的作用,而且受到热冲击,这将加剧刀具的磨损。

(3) 铣削加工的应用范围广泛。铣削加工不仅可以加工箱体、支架、机座,以及板块状零件的大平面、凸台面、内凹面、台阶面、V型槽、T型槽、燕尾槽,还可以加工轴和盘套类零件的小平面、小沟槽及分度工件等。

(4) 铣削时容易产生振动。铣刀刀齿在切入和切出工件时易产生冲击,并将引起同时参加工作的刀齿数目的变化,即使对每个刀齿而言,在铣削过程中的铣削厚度也是不断变化的,因此使铣削过程不够平稳,影响了加工质量。与刨削加工相比,除宽刀细刨外,铣削的加工质量与刨削大致相当,一般经粗加工、精加工后都可达到中等精度。

2. 铣床

铣床是用铣刀进行铣削加工的机床。在铣床上可以加工平面、沟槽、分齿零件、螺旋形表面及各种曲面。此外,还可对回转体表面及内孔进行加工以及切断加工等。通常铣削的主运动是铣刀的旋转,工件或铣刀的移动为进给运动,这有利于采用高速切削,其生产率比刨床高。铣床的类型很多,主要有升降台式铣床、床身式铣床、龙门铣床、工具铣床、仿形铣床、专门化铣床以及近年来发展起来的数控铣床等。

1) 升降台式铣床

升降台式铣床是铣床类机床中应用最广泛的一种。它有卧式升降台铣床和立式升降台铣床两大类,适用于单件小批生产中加工中小型零件。

卧式升降台铣床又称卧铣,其主轴水平放置,如图 1.8 所示,固定在工作台上的工件,可以在相互垂直的三个方向上实现任一方向的调整或进给运动。

图 1.9 所示为万能升降台铣床,它与卧式升降台铣床的区别为在工作台与床鞍之间增装了一层转盘,转盘相对于床鞍可在水平面内扳转一定的角度,以便加工螺旋槽等表面。

立式升降台铣床又称立铣,其主轴垂直安装,如图 1.10 所示,可用各种端铣刀或立铣刀加工平面、斜面、沟槽、台阶、齿轮、凸轮及封闭的轮廓表面等。

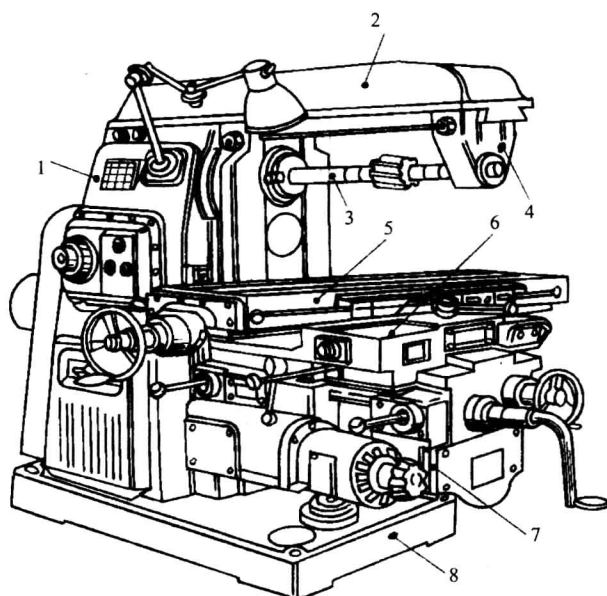


图 1.8 卧式升降台铣床

1-床身；2-悬臂；3-铣刀心轴；4-挂架；5-工作台；6-床鞍；7-升降台；8-底座

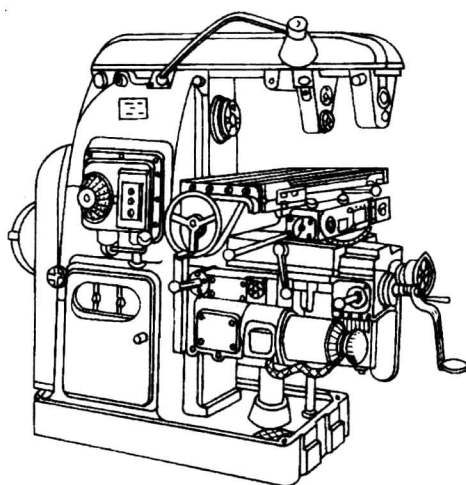


图 1.9 万能升降台铣床

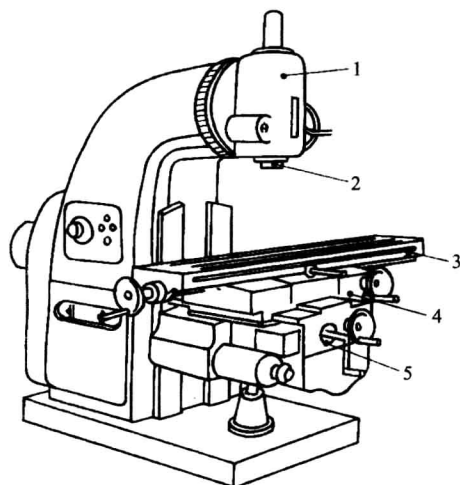


图 1.10 立式升降台铣床

1-立铣刀；2-主轴；3-工作台；4-床鞍；5-升降台

2) 床身式铣床

加工时工件只作横、纵两个方向的进给运动，垂直运动由安装在立柱上的主轴箱来实现，工作台不升降的铣床为床身式铣床。床身式铣床刚度高，便于采用较大的切削用量。此类机床常用于加工中等尺寸的零件。

图 1.11 所示为双轴圆形工作台铣床，主要用于粗铣和半精铣顶平面。这种机床的生产率较高，但需专用夹具装夹工件，适用于成批或大量生产中铣削中、小型工件的顶平面。