

机械制造类

普通高等教育规划教材

机械制造技术基础

JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

杨斌久 李长河 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

机械制造技术基础

主编 杨斌久 李长河
参编 刘雪云 刘琨明 冯宝富
主审 王启平



机械工业出版社

全书共分为六章,内容包括机械制造技术基础概述、金属切削方法及装备、金属切削与磨削原理、机械加工质量及其控制、机械加工及装配工艺规程设计、机床夹具设计等。

本书以机械制造工艺为主线,其他方面各有关部分(如金属切削原理、金属切削机床、金属切削刀具和机床夹具设计)与机械制造工艺有机结合。

本书可作为高等院校机械工程、机械设计制造及自动化、工业工程(工程管理)、材料成形及控制工程等专业的教材,也可供工厂、企业中从事机械设计、机械制造专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/杨斌久,李长河主编 —北京:机械工业出版社, 2008 12

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-25849-0

I 机 . . II ①杨 . . ②李 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 201313 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:倪少秋 责任编辑:倪少秋 周璐婷

版式设计:张世琴 责任校对:陈延翔

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.5 印张·357 千字

标准书号 ISBN 978-7-111 25849-0

定价 26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379724

封面无防伪标均为盗版

前 言

“机械制造技术基础”是高等工科院校机械类各专业的一门重要的技术基础课程，是联系基础课、实践教学和专业课之间的纽带。

本教材是根据全国高等学校“机械制造技术基础”课程教学大纲要求，按照近几年来全国高等学校教学改革的有关精神，在结合编者多年教学实践并参照了国内外有关资料的基础上编写而成的。全书突出体现了以下几点：

1) 紧密结合教学大纲，在内容上注重于加强基础、突出能力的培养，做到系统性强、少而精。

2) 体现了机械制造理论与实践结合，以机械制造工艺为主线，其他方面各有关部分（如金属切削原理、金属切削机床、金属切削刀具和机床夹具设计）与机械制造工艺有机结合，特色明显。

3) 为适应机械制造学科的进步和发展形势的需要，各章内容贯穿了制造系统的概念，同时考虑到扩大知识面，适当加入了反映国内外的新成果、新技术方面的内容。

4) 全书采用最新国家标准及法定计量单位。

5) 为方便学生自学和进一步理解课程的主要内容，在各章后均编入了一定数量的习题，做到理论联系实际、学以致用。

本书由杨斌久、李长河任主编，参加编写的有刘雪云、刘琨明和冯宝富。本书第一、六章由李长河编写，第二章由杨斌久编写，第三章由杨斌久、冯宝富编写，第四章由刘雪云编写，第五章由刘琨明编写。全书由杨斌久统稿和定稿。

本书由哈尔滨工业大学王启平教授主审。王启平教授提出了许多宝贵的建议，在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助，参考了许多教授、专家的有关文献，在此谨向他们表示衷心的感谢！

由于编者的水平和时间有限，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 机械制造技术基础概述 1

- 第一节 机械产品生产过程和工艺过程 1
- 第二节 零件获得方法 5
- 第三节 机械制造装备与工艺系统 7
- 习题与思考题 8

第二章 金属切削方法及装备 9

- 第一节 零件表面形成方法及机床的运动 9
- 第二节 金属切削机床的类型和特点 13
- 第三节 车床 17
- 第四节 其他通用机床 25
- 第五节 数控机床与加工中心 41
- 习题与思考题 53

第三章 金属切削与磨削原理 54

- 第一节 金属切削与磨削加工的基本概念 54
- 第二节 刀具和砂轮 66
- 第三节 金属切削过程中的物理现象 73
- 第四节 磨削过程及其机理 81
- 第五节 切削、磨削条件的合理选择 84
- 第六节 先进加工技术 90
- 习题与思考题 97

第四章 机械加工质量及其控制 99

- 第一节 机械加工精度 99
- 第二节 机械加工精度的影响因素 100
- 第三节 机械加工表面质量 125
- 第四节 机械加工中的振动 135
- 习题与思考题 141

第五章 机械加工及装配工艺规程

设计 144

- 第一节 机械加工工艺流程基本概念 144
- 第二节 机械加工工艺流程制订 147
- 第三节 工序尺寸和工艺尺寸链计算 162
- 第四节 计算机辅助工艺规程设计 168
- 第五节 机器装配工艺规程设计 171
- 第六节 机械产品设计的工艺性评价 182
- 习题与思考题 187

第六章 机床夹具设计 190

- 第一节 概述 190
- 第二节 工件在夹具中的定位 192
- 第三节 定位误差的分析与计算 202
- 第四节 工件在夹具中的夹紧 207
- 第五节 各类机床夹具 213
- 第六节 机床夹具的设计步骤与方法 221
- 习题与思考题 224

参考文献 226

第一章 机械制造技术基础概述

第一节 机械产品生产过程和工艺过程

一、制造的相关概念

1. 制造

制造是人类所有经济活动的基石，是人类历史发展和文明进步的动力。

(1) 狭义的定义 制造是机电产品的机械加工工艺过程。

(2) 广义的定义 按照国际生产工程学会（CIRP）的定义，制造是涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。

2. 制造技术

制造技术是指按照人们所需的目的，运用知识和技能，利用客观物资工具，将原材料物化为人类所需产品的工程技术，即使原材料成为产品而使用的一系列技术的总称。

3. 制造过程

制造过程是指产品从设计、生产、使用、维修到报废、回收等的全过程，也称为产品生命周期。

4. 制造业

制造业是指将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等）利用制造技术，通过制造过程，转化为供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。

5. 机械制造系统

机械制造系统是制造业的基本组成实体，由完成机械制造过程所涉及的硬件（物料、设备、工具、能源等）、软件（制造理论、工艺、技术、信息和管理等）和人员（技术人员、操作工人、管理人员等）组成的，通过制造过程将制造资源（原材料、能源等）转变为产品（包括半成品）的有机整体，称为机械制造系统。

机械制造系统的功能是将输入制造系统的资源（原材料、能源、信息、人力等）通过制造过程输出产品，其结构由硬件、软件和人员组成，并包括了市场分析、产品策划、开发设计、生产组织准备、原材料准备及贮存、毛坯制造、零件加工、机器装配、质量检验以及许多其他与之相关的各个环节的生产全过程。机械制造系统如图 1-1 所示，系统中的物料流、信息流和能量流之间是相互联系、互相影响的，是一个不可分割的整体。

根据考察研究的对象不同，一个工厂、一个车间、一条生产线、甚至一台机床，都可以看作是不同层次的机械制造系统。包括一台机床的机械制造系统是单级制造系统，包括多台机床的机械制造系统是多级制造系统。

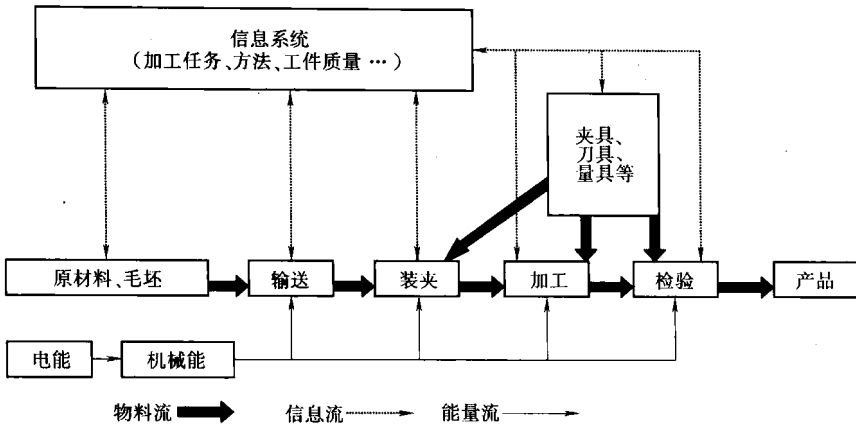


图 1-1 机械制造系统图

二、生产过程和工艺过程

从原材料（或半成品）进厂到把成品制造出来的一系列相互关联的劳动过程的总和统称为生产过程，它包括原材料的运输保管、把原材料做成毛坯、把毛坯做成机器零件、把机器零件装配成机器、检验、试车、涂装、包装等。生产过程和狭义的制造概念一致。

在生产过程中凡属直接改变生产对象的尺寸、形状、物理化学性能以及相对位置关系的过程，统称为工艺过程，它包括毛坯制造、零件加工、热处理、质量检验和机器装配等。而为保证工艺过程正常进行所需要的刀具、夹具制造，机床调整维修等，则属于辅助过程。工艺过程又可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、装配等。在工艺过程中，以机械加工方法按一定顺序逐步地改变毛坯形状、尺寸、表面层性质，直至成为合格零件的那部分过程称为机械加工工艺过程。生产过程、工艺过程、辅助过程和机械加工工艺过程的关系如图 1-2 所示。

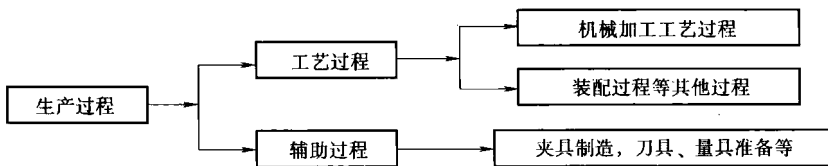


图 1-2 生产过程的组成

三、工艺过程的组成

机械加工工艺过程由若干个工序组成，每一个工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

1. 工序

一个工人（或一组工人）在一个工作地点对同一工件（或同时对几个工件）所连续完成的那一部分工艺过程，称为工序。工序是工艺过程的基本组成部分，也是制订生产计划和进

行成本核算的基本单元。

在工序的定义中强调工人、工作地点和被加工工件三者都不能改变且连续完成，否则有其一变化或不是连续完成，则应成为另一个工序。例如，图 1-3 所示的阶梯轴简图，如果各个表面都需要进行机械加工，则根据生产类型的不同，采用不同的工艺方案进行加工。对于单件、小批量生产，可按表 1-1 的方案进行加工；对于大批、大量生产，则应用表 1-2 的方案加工。因此，同一个零件、同样的加工内容可以有不同的工序安排。

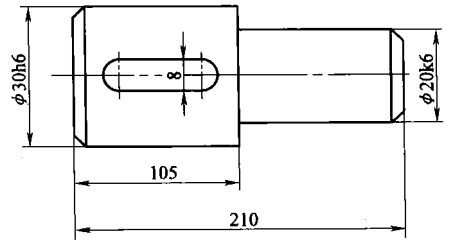


图 1-3 阶梯轴

在零件加工工艺过程中通常还包括检验、打标记等一些虽然不改变零件形状、尺寸和表面性质，但却对工艺的完成有直接影响的工序，一般称这些工序为辅助工序。

表 1-1 单件、小批量生产的工艺过程

工 序	内 容	设 备
10	车小端面，钻中心孔，车小外圆及倒角；调头车大端面，钻中心孔，车大外圆及倒角	车床
20	铣键槽，去毛刺	铣床

表 1-2 大批、大量生产的工艺过程

工 序	内 容	设 备
10	车小端面，钻中心孔，车小外圆及倒角	车床
20	车大端面，钻中心孔，车大外圆及倒角	车床
30	铣键槽	铣床
40	去毛刺	钳工台

2. 安装

在机械加工的工艺过程中，使工件在机床或夹具中占据某一正确位置并被夹紧的过程，称为装夹。工件在一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一道工序中，可能只需一次安装，也可能进行多次安装。例如，表 1-1 中的工序 10 进行两次装夹才能完成全部工序内容；而表 1-2 中的工序 20 则需一次装夹就能完成所加工的工序内容。从减小装夹误差及减少装夹工件所花费的时间考虑，应尽量减少安装次数。

3. 工位

在同一工序中，有时为了减少由于多次装夹而带来的误差及时间损失，往往采用转位工作台或转位夹具。在工件的一次安装中，工件相对于机床（或刀具）每占据一个确切加工位置称为工位。图 1-4 为利用转塔车床的转塔刀架、前后刀架依次进行粗车外圆、钻中心孔、钻孔、切槽、扩孔、精车外圆、铰孔、车端面、倒角等工作，此安装由 9 个工位组成。采用多工位加工可以减少工件的安装次数，从而缩短工时，提高工作效率。

4. 工步

在加工表面、切削刀具和切削用量（仅指机床主轴转速和进给量）都不变的情况下所完

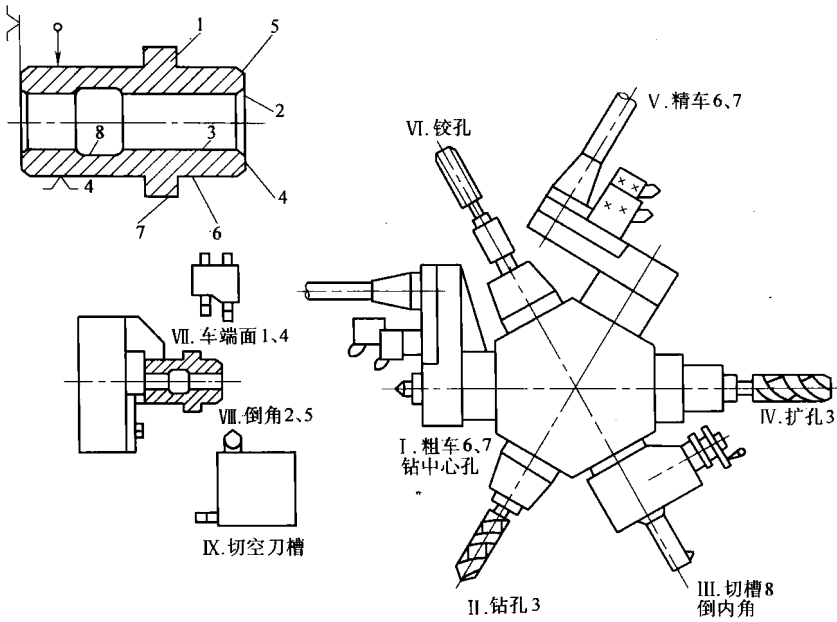


图 1-4 多工位加工

成的那一部分工艺过程，称为一个工步。在一个工序（或一次安装或一个工位）中可以完成一个或几个工步。例如，图 1-5 为底座孔的多工步加工，在一个工序（一次安装或一个工位）完成钻孔、扩孔和铰孔三个工步。因此，若在加工表面、切削刀具和切削用量中只要有一个要素改变，就不能认为是同一个工步。转塔自动车床转塔每转换一个加工位置，切削刀具、加工表面及车床转速和进给量一般都发生变化，这样就构成了不同的工步。

为了提高生产效率，机械加工中有时用几把刀具同时加工几个待加工表面，这也被看作是一个工步，称为复合工步。图 1-6 为复合工步的加工实例。

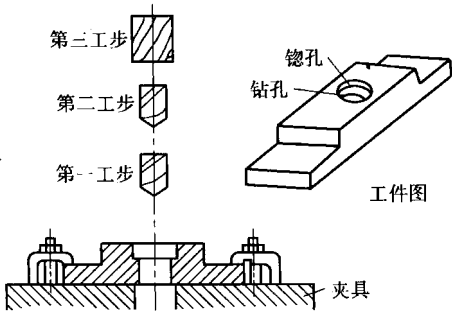


图 1-5 底座孔的多工步加工

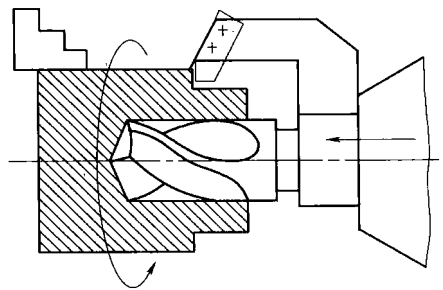


图 1-6 复合工步加工

5. 走刀

在一个工步中，由于加工余量较大，需要用同一切削用量对同一表面进行多次切削，这样刀具对工件的每一次切削，就称为一次走刀。表面分两次切削就是两次走刀。图 1-7 所示

为棒料多次走刀加工。

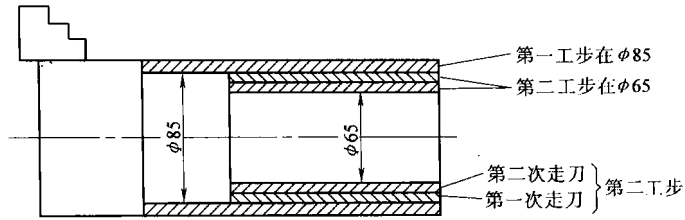


图 1-7 棒料多次走刀加工

综上所述，工艺过程由许多工序组成，一个工序可能有几个安装，一个安装可能有几个工位，一个工位可能有几个工步，一个工步可能有几次走刀。

第二节 零件获得方法

一、零件成形方法分类

任何机械产品都是由许多单个零件装配而成，零件制造是机械制造的基础。根据加工方法的机理和特点，零件成形方法可分为去除成形、结合成形和受迫成形三大类。

1. 去除成形

去除成形又称为分离成形，是从工件上去除多余材料而成形的方法。车、铣、刨等切削加工方法，磨削、珩磨、研磨等磨粒加工方法，电火花加工、激光加工、超声波振动加工等特种加工方法，都是常见的零件去除成形方法。这一方法在机械加工中获得广泛应用。

2. 结合成形

结合成形又称堆积成形，是利用理化方法将相同材料或不同材料结合在一起而成形的方法。焊接、粘接、快速成形等均属于该方法。这一方法也在机械制造中获得应用。

3. 受迫成形

受迫成形又称流动成形，是利用力、热、分子运动等手段使工件产生变形，改变其尺寸、形状和性能。锻造、铸造、冲压等都属于这种成形方法。这一方法主要用于毛坯的制造和特种材料的成形。

在上述三种成形方法中，去除成形要去除多余材料并产生切屑，材料利用率较低；受迫成形一般也要产生飞边、浇冒口等工艺废料；而结合成形则材料利用率相对较高。去除成形通常为最终成形，可达到的精度最高；结合成形也能达到高的精度；而受迫成形一般精度较低。但精密锻造、精密铸造、注塑成型等成形精度也较高，属于净成形或近净成形范畴。去除成形难于制造形状复杂的零件；受迫成形中的铸造可以制造形状复杂的零件；而结合成形中的快速成形方法可以制造的零件形状复杂程度最高。通常的零件是由受迫成形方法制造毛坯，再由去除成形方法最后制得。

在这三种成形方法中，去除成形是使工件材料逐步减少的成形方法；结合成形是使工件材料在加工过程中逐步增加的成形方法；受迫成形是指在加工过程中工件材料基本不变的成

形方法。

二、零件加工方法分类

从加工方法的机理来分类,零件的获得方法可分为传统加工、特种加工和复合加工。传统加工是指使用刀具或磨具进行的切削加工和磨削加工的方法;特种加工是指利用机、光、电、声、热、化学、磁、原子能等能源来进行加工的方法;复合加工是指采用多种加工方法的复合。目前,传统加工仍然是零件的主要加工方法。

传统加工中切削加工和磨削加工的共同特点是利用机械能和依靠切削刃进行工作。切削刃的硬度比工件材料高,在力的作用下可以切入工件,使工件材料产生分离破坏。切削加工和磨削加工方法比较简便,可以加工各种大小尺寸的工件和多种形状的表面,适应性强,并且成本较低。所以切削加工和磨削加工作为传统的加工方法,目前在机械制造中还占有非常重要的地位,尚不能被其他方法所取代。

然而,切削加工和磨削加工方法也有其固有的不足:加工过程中能量的利用率极低,难于加工一些难加工材料(如玻璃、陶瓷)和某些特形表面(如微小孔、异形孔)等,这促进了特种加工方法的发展和应用。

1. 常见的利用机械能的特种加工方法

(1) 磨料喷射加工 磨料喷射加工是使磨料在喷管内随高压气体喷出,打击在工件表面上而去除其余量进行加工的方法。

(2) 水射流加工 水射流加工是利用高压细束水射流的冲击能量对薄的金属片、纤维增强复合材料等进行精密切割的加工方法,也称高压水切割技术。

(3) 混磨料水射流加工 水射流加工难于切割很硬的材料。混磨料水射流加工是高压细束水射流和细磨料相混合作为介质进行加工的方法,可以进行难加工材料的切割。

(4) 磨料流加工 磨料流加工是利用含有磨料的半流体介质在压力作用下,在工件内腔往复低速运动而对金属产生去除作用,能进行表面光饰、去毛刺、倒圆角等工作。

(5) 超声波加工 超声波加工是利用工具作超声频振动,通过在悬浮液中的磨料去除加工硬脆材料的一种加工方法。

2. 常见的利用化学能的特种加工方法

(1) 化学铣削 化学铣削一般用于铝材整体壁板的加工,它是用氢氧化钠对外露的铝板表面进行腐蚀,而非加工表面用耐腐蚀性涂层保护起来,使特定部位的金属发生溶解去除而达到加工目的的加工方法。

(2) 电解加工 电解加工是利用电化学反应过程中金属阳极溶解的原理进行的加工方法。通常是以氯化钠的水溶液为电解液,将工具和工件分别连接阴极和阳极,通电后工件表面就会逐渐溶解而被去除一层金属。

3. 常见的利用热能的特种加工方法

(1) 电火花加工 电火花加工利用工具和工件之间脉冲性的火花放电,依靠电火花局部、瞬间产生的高温把金属材料蚀除。电火花线切割是电火花加工的一种特殊形式。

(2) 激光束加工 激光束加工是利用激光能的加工方法,可以产生极高的温度。该种方法的原理是利用激光器发出的强光束,经过光学系统聚焦,可以在百分之几毫米范围内产生10000度以上的高温,使各种难加工材料熔融而致气化。

(3) 电子束加工 电子束加工是在真空条件下利用电流加热阴极,使之发射电子束,并以极高的能量密度轰击被加工材料,将其气化去除的加工方法。该方法可以加工 $10 \sim 20\mu\text{m}$ 的小孔和窄缝。

(4) 等离子束加工 其加工原理和电子束加工类似,也在真空条件下进行。该方法是使惰性气体通过离子枪产生离子束,并经过加速、集束、聚焦后投射到工件表面的加工部位以实现去除材料的目的。

4. 常见的利用几种能量形式的复合加工方法

(1) 加热切削 加热切削利用等离子电弧或激光加热工件待加工部位,瞬时改变材料的物理力学性能,达到使金属余量容易被去除的目的。

(2) 低温切削 低温切削是利用低温使工件材料产生脆性,可改善其切削性能,断屑容易。

(3) 电解磨削 电解磨削是利用电化学作用使工件表面的金属在电解液中发生阳极溶解,然后用导电砂轮通过机械作用将溶解了的金属去除的加工方法。

其他复合加工方法还有电解电火花加工、超声切削、磁力抛光、磁化切削、机械化学抛光等。常用的零件获得方法如表 1-3 所示。

表 1-3 零件获得方法

分 类	加工机理	加工方法
去除成形	利用机械能	车削、刨削、铣削、磨削、研磨、抛光、冲孔、落料、水射流加工
	利用化学能	电解加工、腐蚀加工
	利用热能	电火花加工、激光加工、离子束加工
	复合加工	电解磨削、化学机械抛光、超声波车削
结合成形	物理化学方法	焊接、粘接、快速成形、电镀、电铸、物理(化学)气相沉积
受迫成形	利用力、热、分子运动	锻造、拉深;铸造;液晶定向

第三节 机械制造装备与工艺系统

一、机械制造装备的组成

机械制造装备包括加工装备、工艺装备、仓储输送装备和辅助装备。它与制造方法、制造工艺紧密联系在一起,是机械制造技术的重要载体。加工装备主要指机床,而机床又可分为金属切削机床、锻压机床以及特种加工机床等。工艺装备是产品制造过程中所用的各种工具的总称,包括刀具、夹具、模具、辅具、量具、检具和钳工工具等。在工艺装备中,刀具是能从事工件上切除多余材料或切断材料的带刃工具;夹具是用以装夹工件(和引导刀具)的装置;辅具是用以连接刀具和机床的工具;量具是用以直接或间接测出被测对象量值的工具、仪器、仪表等。

根据其通用性,工艺装备还分为专用工艺装备、通用工艺装备和标准工艺装备。专用工艺装备是专为某一产品所设计的工艺装备;通用工艺装备是能为几种产品所共用的工艺装备;标准工艺装备是已纳入标准的工艺装备。

仓储输送装备主要指坯料、半成品或成品在车间内工作地点间的转移输送装置，以及机床的上下料装置。仓储输送装置主要应用于流水线和自动生产线上。

辅助装备包括清洗、排屑装置和计量装置等。

二、工艺系统

在零件加工过程中，被加工的是工件，直接完成加工过程的是刀具，决定被加工工件尺寸和精度的是刀具和工件之间的相对位置。如图 1-8 所示的钻孔加工，刀具固定于机床之上，工件通过夹具也固定于机床之上，刀具—机床—夹具—工件构成一个闭环，切削力和尺寸关系通过它们也构成一个闭环，即刀具和工件之间的相对运动和位置决定于这一闭环，它们形成了一个统一体来共同影响加工过程。这个在机械加工中由机床、刀具、夹具和工件所组成的统一体称为工艺系统。

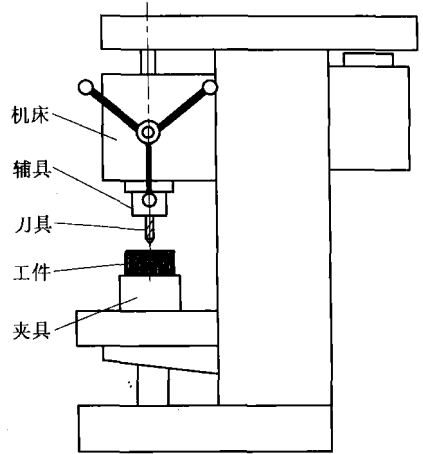


图 1-8 钻孔加工

在工艺系统中，机床用来向制造过程提供刀具和工件之间的相对位置和相对运动，以及为改变工件的形状和性质而提供能量；刀具从工件上切除多余材料以完成加工工作；夹具用以正确地确定工件相对机床和刀具的位置，并在加工时将它牢固地夹紧。

习题与思考题

- 1-1 制造的狭义概念和广义概念是什么？机械制造系统的构成和功能是什么？
- 1-2 什么是生产过程、工艺过程？
- 1-3 什么是工序、安装、工位、工步和走刀？
- 1-4 根据加工方法的机理和特点，零件成形方法可分为哪几大类？各有何特点？
- 1-5 从加工方法的机理来分类，零件的加工方法可分为哪几类？各种加工方法又是如何定义的？
- 1-6 机械制造装备的组成以及各部分的功用是什么？
- 1-7 工艺系统的组成及各部分的功用是什么？

第二章 金属切削方法及装备

第一节 零件表面形成方法及机床的运动

一、零件表面的形成方法

任何机器都是由机械零件组合而成的。在机械制造的生产过程中，大部分机械零件是采用切削或磨削加工的方法来获得。在零件加工过程中，安装在机床上的刀具和工件按一定的规律相对运动，通过刀具的刀刃对工件毛坯的切削作用，把毛坯上多余的金属切掉，从而得到所要求的表面形状。图 2-1 所示为机械零件上常用的各种表面。不难看出，尽管机械零件的形状和大小各异，但构成其内外形轮廓的，不外乎是几个基本的几何表面，即平面、圆柱面、圆锥面及成形表面等。

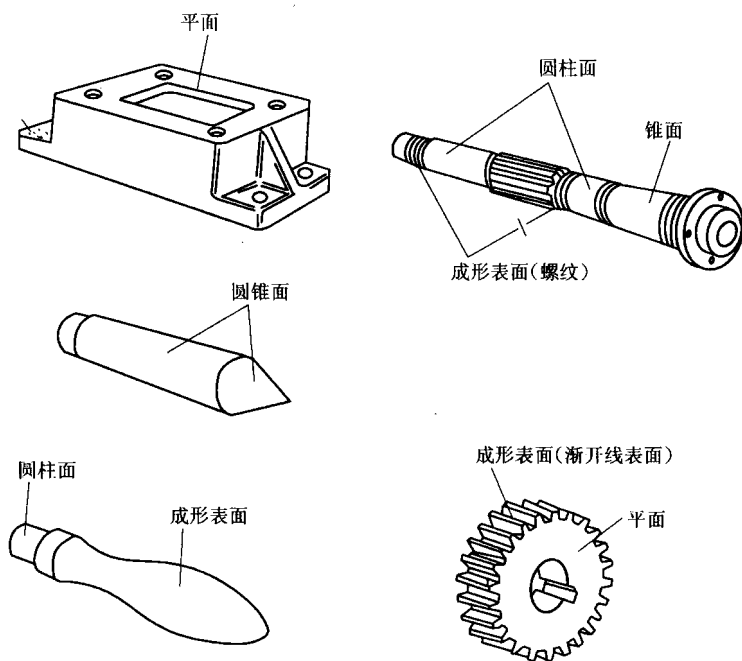


图 2-1 机械零件上常用的各种表面

从几何学的观点来看，任何表面都可以看作是一条线（母线）1 沿着另一条线（导线）2 运动的轨迹。母线和导线统称为成形表面的发生线。

图 2-2 所示为几种不同的母线和导线相对运动形成不同表面的示例。需要注意的是，有些表面的发生线完全相同，只因母线的原始位置不同，也可形成不同的表面。如图 2-2c、d

所示, 母线皆为直线, 导线皆为圆, 轴心线和所需的运动也相同, 但是由于母线相对于旋转轴线的原始位置不同, 所产生的表面就分别成为圆柱面和圆锥面。

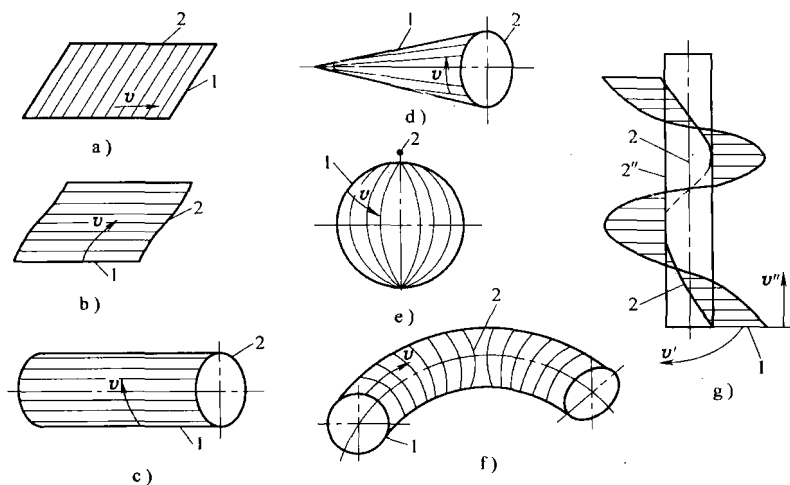


图 2-2 零件表面的形成

a) 平面 b) 直线成形表面 c) 圆柱面 d) 圆锥面 e) 球面 f) 圆环面 g) 螺旋面

由图 2-2 可以看出, 有些表面的母线和导线可以互换, 而不改变形成表面的性质, 如平面、圆柱面等, 这些表面称为可逆表面; 而另一些表面, 其母线和导线不可互换, 如圆锥面、球面、圆环面和螺旋面等, 称为不可逆表面。

在机床上加工零件表面时, 发生线是由刀具的切削刃与工件间的相对运动得到的。由于使用的刀具切削刃形状和采取的加工方法不同, 形成发生线的方法也就不同, 概括起来有以下四种。

1. 轨迹法

轨迹法是利用刀具按一定运动规律的运动来对工件进行加工的方法。如图 2-3a 所示, 用一直头外圆车刀加工回转体成形表面。车刀的切削刃与被加工表面为点接触, 因此, 切削刃的形状可看作一个切削点 1, 它按一定的规律作轨迹运动 3, 形成了所需要的发生线 2。所以, 采用轨迹法形成发生线需要一个独立的成形运动。

2. 成形法

成形法是利用成形刀具对工件进行加工的方法。如图 2-3b 所示, 刀具切削刃本身形成了母线, 即发生线的形成不需要专门的成形运动。

3. 相切法

相切法是利用刀具边旋转边作轨迹运动来对工件进行加工的方法。如图 2-3c 所示, 当用铣刀等旋转刀具加工时, 在垂直于刀具旋转轴线的端面内, 切削刃可以看作一个切削线 1, 切削时铣刀除了围绕自身轴线旋转外, 它的轴线还需按一定的规律作轨迹运动 3, 此时铣刀切削线 1 运动轨迹的下包络线 (相切线) 就形成了发生线 2。所以用相切法形成发生线需要两个独立的成形运动。一般来说, 铣床和磨床是以相切法进行加工的。

4. 展成法

展成法 (又称范成法) 是利用刀具和工件作展成切削运动的加工方法。如图 2-3d 所示,

为用齿条形插齿刀加工直齿圆柱齿轮。刀具切削刃的形状为一条切削线 1，它与需要形成的发生线 2（渐开线）不相吻合，切削加工时，刀具切削线 1 与发生线 2 相切，当工件的节圆在齿条刀具的节线上作纯滚动时，也即齿条刀具的直线移动 A 和工件的旋转运动 B 按齿轮与齿条作啮合运动时，发生线 2 就是切削线 1 在纯滚动过程中连续位置的包络线。因此，用展成法形成发生线时需要一个复合运动，这个运动就称为展成运动。

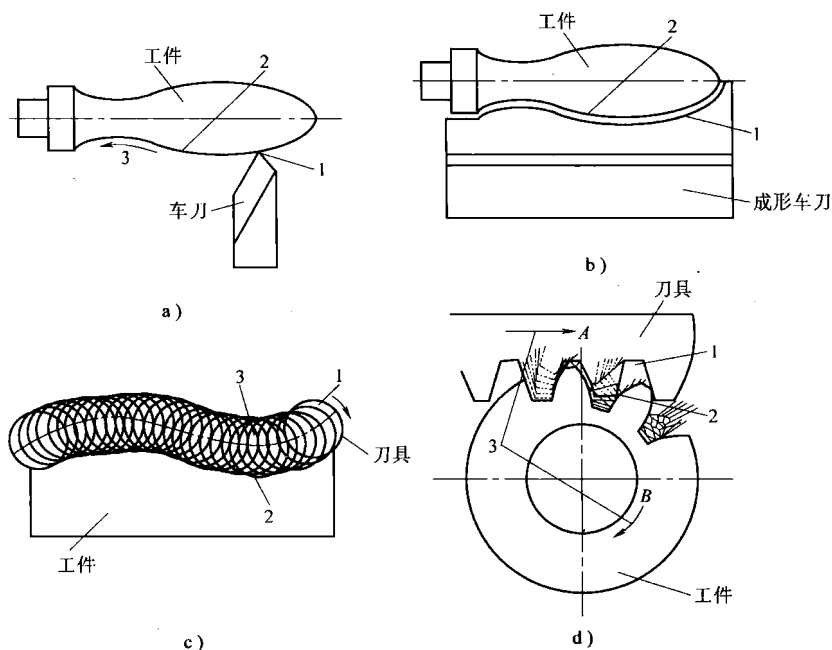


图 2-3 形成发生线的几种方法

1—切削线（切削点） 2—发生线 3—轨迹运动

二、机床切削成形运动

机床上形成工件表面所需要的刀具和工件间的相对运动，称为表面成形运动，这是机床上最基本的运动。同一种表面，如图 2-3 所示的曲面，因采用的工艺方法不同，所用的刀具不同，所需机床的成形运动也不同，从而使机床具有不同的结构。

表面成形运动（简称成形运动）是保证得到工件要求的表面形状的运动。例如，图 2-4 所示为用车刀车削外圆柱面，其形成发生线的方法属于轨迹法。工件的旋转运动 B_1 产生母线（圆），刀具的纵向直线运动 A_2 产生导线（直线），运动 B_1 和 A_2 就是两个表面成形运动。又如刨削，滑枕带着刨刀（牛头刨床）或工作台带着工件（龙门刨床）作往复直线运动产生母线，工作台带着工件（牛头刨床）或刀架带着刀具（龙门刨床）作间歇直线运动，产生导线。这两个运动产生发生线（皆为直线），因而都是成形运动。旋转运动和直线运动是两种最简单的成形运动，因而称为简单成形运动。在机床

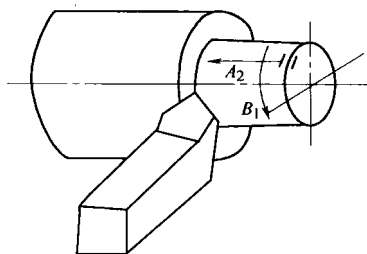


图 2-4 车削外圆柱表面时的成形运动

上, 它们以主轴的旋转、刀架或工作台的直线运动的形式出现。一般用符号 A 代表直线运动, 用符号 B 代表旋转运动。

并非成形运动均为简单运动, 也有不是简单运动的。图 2-5 所示为用螺纹车刀车螺纹的运动, 螺纹车刀是成形刀具, 其形状与被加工螺纹沟槽的轴截面形状相同。此时形成螺旋面只需一个运动, 即车刀相对工件作螺旋运动。在机床上, 最容易得到并最容易保证精度的运动是旋转运动 (如主轴的旋转) 和直线运动 (如刀架的移动)。因此, 往往把这个螺旋运动分解成等速的旋转运动和等速的直线运动。这样的运动称为复合成形运动。为了得到一定导程的螺旋线, 运动的两个部分 (图 2-5 中 A_{12} 和 B_{11}) 必须严格保持相对运动关系, 即工件每转一转, 刀具的位移量应为一个导程。

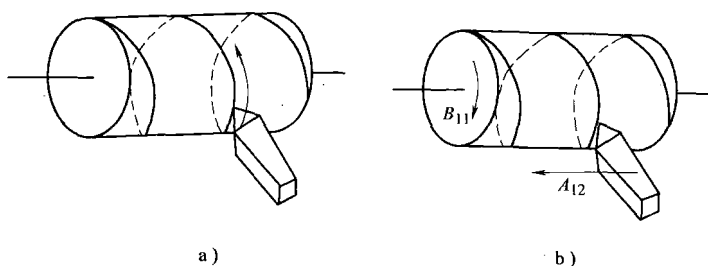


图 2-5 用螺纹车刀车螺纹的运动

有些情况下, 零件的表面形状非常复杂, 例如螺旋桨的表面、汽轮机的叶片等零件。为了实现对形状复杂零件表面的加工, 需要十分复杂的成形运动。这种成形运动要分解为 3 个甚至更多个部分, 通常只能在多轴联动的数控机床上实现。每一个运动部分是一个旋转或直线运动, 就对应着数控机床上的一个坐标轴。一般地说, 坐标轴越多, 则机床就越复杂。

由复合成形运动分解成的各个分运动, 虽然都是直线或旋转运动, 与简单运动相似, 但其本质是不同的。复合成形运动是一个运动, 它的各个部分相互依存, 并保持着严格的相对运动关系。

三、机床主运动、进给运动和辅助运动

表面成形运动也称之为切削运动, 根据切削加工中所起的作用不同, 切削运动又可分为主运动和进给运动。

1. 主运动

主运动是使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动。在表面成形运动中, 必须而且只能有一个主运动。一般地, 这个运动的速度最高, 消耗功率最大。例如, 图 2-4 所示的外圆车削时, 工件的回转运动是主运动; 在钻削、铣削和磨削加工中, 刀具和砂轮的回转运动是主运动。主运动可能是简单的成形运动, 也可能是复合的成形运动。在图 2-5 所示的螺纹加工中, 主运动就是 A 和 B 的复合运动。

2. 进给运动

进给运动是使主运动能够不断切除工件上多余的金属, 以形成工件新的表面所需的运动, 即维持切削继续的运动。例如, 图 2-4 所示的外圆车削加工时, 车刀的纵向移动是进给