



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

冯之敬 主编

机械制造工程原理

(第2版)

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

冯之敬 主编

机械制造工程原理

(第2版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为适应机械制造专业教学体系改革的需要,将机械制造原几门课程中的核心教学内容,以机械制造工程基础原理为主线进行综合编写而成的一门系统的机械制造专业基础课教材。主要内容有:金属切削的基本要素,金属切削过程及切削参数优化选择,机床、刀具和加工方法,工件的定位夹紧与夹具设计,机械加工表面质量,机械加工精度,机械加工工艺规程的制定,装配工艺规程的制定,精密、特种加工和新工艺技术方法简介等。

本书可作为高等工科院校机械制造专业的专业基础课教材,也可作为机械类通用的专业基础课教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程原理/冯之敬主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2008.6

ISBN 978-7-302-17110-2

I. 机… II. 冯… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 025812 号

责任编辑:张秋玲

责任校对:王淑云

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:28

字 数:578 千字

版 次:2008 年 6 月第 2 版

印 次:2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:023425-01

主 编 简 介

冯之敬博士,清华大学精密仪器与机械学系教授,博士生导师,生于1948年4月29日。

1982年大学本科毕业于合肥工业大学机械工程系,获学士学位;1985年硕士研究生毕业于哈尔滨工业大学机械制造专业,获硕士学位;1987年博士研究生毕业于哈尔滨工业大学机械制造专业,获博士学位;1987—1990年在北京理工大学光学仪器专业读博士后;1990年到清华大学精仪系工作,1996年任职教授,1998年担任博士生导师。

主要从事计算机控制精密超精密加工技术领域的研究工作,主持和参加完成了多项国家自然科学基金、国家863高技术计划、国家攻关、清华大学校基金、工厂企业合作项目等。科研成果有:1985年获航天工业部科技进步二等奖,1998年获教育部科技进步二等奖,2001年获教育部科技进步一等奖。发表科学论文60余篇,并在《机电一体化技术手册》(机械工业出版社,1994)一书中担任全书副主编和总论篇主编,该书1995年获国家新闻出版署全国优秀科技图书二等奖。

指导的博士生论文2006年度入选全国百篇优秀博士学位论文,为此获教育部、国务院学位委员会颁发的全国百篇优秀博士学位论文指导教师奖。

1995年以来,主持清华大学本科生“制造工程基础”课程的教学工作。制造工程基础课程的教学改革1998年获清华大学优秀教学成果一等奖;专业基础课程的综合教学改革2001年获北京市优秀教学成果二等奖。《机械制造工程原理》教材2001年获清华大学优秀教材二等奖;制作的多媒体课件2000年获清华大学优秀教学软件二等奖,2005年获一等奖;《制造工程与技术原理》教材2005年被评为北京市高等教育精品教材。主持的“制造工程基础”课程2005年被评为北京市高等教育精品课程,国家级高等教育精品课程。

2006年获得北京市高等学校教学名师奖。



FOREWORD

前言

当前,机械制造专业课程如何进行改革是许多高等工科院校共同面临和普遍关注的重要问题。

制造业是在国民经济中起着重要作用的基础工业。近 10 多年来,随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术、计算机技术、信息技术等与机械制造技术的深度结合,机械制造工业的面貌发生了很大的变化。数控机床、加工中心、柔性制造系统、集成制造系统、虚拟制造、敏捷制造等不断出现的新的先进制造技术和新的先进生产模式增强了企业的生产能力和市场适应性,产品结构走向多样化,产品性能大幅度提高,机械制造业呈现出激烈的国际性竞争的高速发展势态。

机械制造工业的高速发展,基于强大的机械制造工程技术基础和科学基础。为培养能适应现代制造业发展的高层次的工程技术人才和科学研究人才,高等工科院校必须根据现代高新技术的发展调整机械制造专业课程设置的结构和教学内容,使学生建立与现代制造业发展相适应的系统的知识体系。学生不仅应具有坚实的机械制造专业基础,而且要学习大量涌现的新知识,拓宽知识面,注重专业能力和综合能力的培养,提高毕业后对工作环境的专业适应性。高等工科院校机械制造专业原来的专业课程设置,分为金属切削原理、金属切削刀具、机床、机械制造工艺学等几门大课,虽然在教学中注重了不断充实新的专业基础方面的研究成果,但由于分类细化,专门化程度深,专业教学内容增多,学时延长,总体上与培养适应现代制造业发展的综合性人才的培养目标难以协调,特别是新的知识、新的教学内容、新的课程大量增加引起的课程学时分配的矛盾问题尤为突出。一方面必须加强机械制造专业基础的教学;另一方面又需要缩短学时,机械制造专业课程的结构和教学内容的改革已势在必行,将相关的多门专业课开设成一门综合专业基础课在许多高校被认为是一个可采取的方案。

为适应教学改革的需要,本书对机械制造原专业课程中的核心教学内容进行了综合提炼以及新的专业基础知识的扩展,以机械工程基础原理为主线,形成一门系统的机

械制造专业基础课程,力图达到强化工程基础原理、扩大专业讲授知识面、反映专业新技术和发展趋势、加强教材系统性、精化教学、注重学生专业基础能力和专业适应能力培养的目的。书中有些习题需要查阅课外参考书或工程手册,藉以扩展知识面和提高独立解决工程问题的能力。

本书可作为高等工科院校机械制造专业的专业基础课教材,也可作为机械类通用的专业基础课教材。

本书的编写人员及负责的编写工作如下:潘尚峰、冯平法第1章;潘尚峰第2章;冯平法、冯之敬第3章;刘成颖第4,7,8章;郁鼎文第5,6章;冯之敬第9章。冯之敬为主编,参与了各章的修改定稿,并负责全书的修订。

在本书的规划和编写过程中,王先逵、金之垣、姚健、池去病、傅水根、汪劲松、段广洪、张玉峰、叶蓓华、陈田养、成晔等许多有经验的教师对教材的编写大纲和编写方法提出了宝贵的意见和建议,在本书的修订过程中,北京理工大学的庞思勤老师,上海交通大学的陈明老师,浙江工业大学的王秋成老师,合肥工业大学的张崇高老师、谢峰老师、朱政红老师,北京农业大学的朱红梅老师,北京航空航天大学陈五一老师,以及清华大学出版社的张秋玲编审等都提出了许多非常中肯的修订建议,在此致以衷心的感谢。

诚恳希望对教材中的错误和不足之处提出批评指正。

主 编

2008年5月

CONTENTS

目 录

1 金属切削的基本要素	1
1.1 工件表面的形成方法和成形运动	1
1.1.1 工件的加工表面及其形成方法	1
1.1.2 表面成形运动	4
1.2 加工表面和切削用量三要素	8
1.2.1 切削过程中工件上的加工表面	8
1.2.2 切削用量三要素	8
1.3 刀具角度	10
1.3.1 刀具切削部分的结构要素	10
1.3.2 刀具角度的参考系	11
1.3.3 刀具标注角度	13
1.3.4 刀具角度换算	15
1.3.5 刀具工作角度	17
1.4 切削层参数	21
1.5 刀具材料	24
1.5.1 刀具材料应具备的基本性能	24
1.5.2 高速钢	24
1.5.3 硬质合金	27
1.5.4 超硬刀具材料	32
习题与思考题	33
2 金属切削过程及切削参数优化选择	35
2.1 金属切削的变形过程	35
2.1.1 研究金属切削变形过程的实验方法	35

2.1.2	金属切削变形过程的基本特征	37
2.1.3	金属切削过程中的 3 个变形区	37
2.1.4	变形系数和剪应变	39
2.1.5	剪切角	41
2.2	切屑的种类及卷屑、断屑机理	43
2.2.1	切屑的分类方法	43
2.2.2	切屑的形态	43
2.2.3	切屑的形状及卷屑、断屑机理	44
2.3	前刀面上的摩擦与积屑瘤	46
2.3.1	前刀面上的摩擦	46
2.3.2	积屑瘤的形成及其对切削过程的影响	48
2.4	影响切削变形的因素	50
2.5	切削力	52
2.5.1	切削力的来源	53
2.5.2	切削合力、分力和切削功率	53
2.5.3	切削力的理论公式	54
2.5.4	切削力的经验公式	55
2.5.5	影响切削力的因素	59
2.6	切削热和切削温度	66
2.6.1	切削热的产生及传导	66
2.6.2	刀具上切削温度的分布规律	67
2.6.3	影响切削温度的因素	68
2.7	刀具的失效和切削用量的优化选择	73
2.7.1	刀具磨损的形态	73
2.7.2	刀具磨损机理	74
2.7.3	刀具的磨损过程及磨钝标准	76
2.7.4	刀具的使用寿命及与切削用量的关系	77
2.7.5	切削用量的优化选择	79
2.7.6	刀具合理使用寿命的选择	83
2.7.7	刀具破损	85
2.8	刀具几何参数的选择	87
2.8.1	优选刀具几何参数的一般性原则	87
2.8.2	刀具角度的功用及其合理值的选择	87
2.8.3	刀尖几何参数的功用及其合理值的选择	93

2.9	工件材料的切削加工性	94
2.9.1	工件材料切削加工性的概念	94
2.9.2	衡量材料切削加工性的指标	94
2.9.3	影响材料切削加工性的因素	96
2.9.4	改善材料切削加工性的途径	99
2.10	切削液	99
2.10.1	切削液的种类	99
2.10.2	切削液的作用机理	100
2.10.3	提高切削液性能的添加剂	101
2.10.4	切削液的选用	103
	习题与思考题	105
3	机床、刀具和加工方法	107
3.1	机床的分类、型号编制与机床的运动分析	107
3.1.1	金属切削机床的分类与型号编制	107
3.1.2	机床的运动分析	109
3.2	车床和车刀	112
3.2.1	车床的加工范围和运动	112
3.2.2	CA6140 型车床的传动系统	114
3.2.3	CA6140 型车床的主要操纵机构	125
3.2.4	车刀	127
3.3	钻床和麻花钻	132
3.3.1	钻床的加工范围与分类	132
3.3.2	麻花钻	134
3.4	铣床和铣刀	142
3.4.1	铣床的功用和类型	142
3.4.2	铣刀	144
3.4.3	铣削方式	152
3.5	拉床和拉刀	155
3.5.1	拉床及其工作方法	155
3.5.2	拉刀	156
3.6	齿轮加工机床和齿轮加工刀具	161
3.6.1	插齿原理、插齿机床和插齿刀	162
3.6.2	滚齿原理、滚刀与滚齿机床	167

3.6.3	磨齿机床	188
3.6.4	锥齿轮的加工方法	189
3.7	磨床和砂轮	191
3.7.1	磨床的种类和应用范围	191
3.7.2	磨床的液压控制系统	194
3.7.3	砂轮的特性和选择	197
3.8	组合机床	203
3.9	数控机床和加工中心机床	204
3.9.1	数控机床	204
3.9.2	加工中心机床	207
	习题与思考题	207
4	工件的定位夹紧与夹具设计	211
4.1	夹具的基本概念	211
4.1.1	机床夹具的定义及组成	211
4.1.2	夹具的作用	212
4.1.3	夹具的分类	213
4.1.4	工件在夹具中加工时加工误差的组成	214
4.2	工件在夹具上的定位	214
4.2.1	工件的安装	214
4.2.2	定位原理	216
4.2.3	常用定位方法与定位元件	224
4.2.4	定位误差的分析与计算	231
4.3	工件在夹具中的夹紧	234
4.3.1	对夹紧装置的要求	234
4.3.2	夹紧力的确定	234
4.4	各类机床夹具举例	237
4.4.1	钻床夹具	237
4.4.2	铣床夹具	243
4.4.3	车床夹具	246
	习题与思考题	248
5	机械加工表面质量	254
5.1	机械加工表面质量的概念	254
5.1.1	机械加工表面质量的含义	254

5.1.2	表面质量对使用性能的影响	255
5.2	表面粗糙度及其影响因素	257
5.3	机械加工后表面物理机械性能的变化	261
5.3.1	加工表面的冷作硬化	261
5.3.2	加工表面的金相组织变化——磨削烧伤	262
5.3.3	加工表面层的残余应力	263
5.4	控制加工表面质量的途径	268
5.5	振动对表面质量的影响及其控制	269
5.5.1	振动对表面质量的影响	269
5.5.2	自由振动	270
5.5.3	强迫振动	271
5.5.4	自激振动	272
	习题与思考题	275
6	机械加工精度	277
6.1	机械加工精度的概念	277
6.1.1	机械加工精度的含义及内容	277
6.1.2	机械加工误差分类	278
6.2	获得加工精度的方法	278
6.3	影响加工精度的因素	280
6.3.1	原理误差	280
6.3.2	工艺系统的制造精度和磨损对加工精度的影响	281
6.3.3	工艺系统受力变形和零件内应力对加工精度的影响	286
6.3.4	工艺系统受热变形对加工精度的影响	299
6.3.5	调整误差	304
6.3.6	度量误差	305
6.4	加工误差的分析与控制	306
6.4.1	分布曲线法	306
6.4.2	点图法	310
6.4.3	相关分析法	314
6.4.4	分析计算法	317
	习题与思考题	323
7	机械加工工艺规程的制定	327
7.1	基本概念	327
7.1.1	机械产品生产过程与机械加工工艺过程	327

7.1.2	机械加工工艺过程的组成	327
7.1.3	生产类型与机械加工工艺规程	330
7.1.4	机械加工工艺规程的设计原则、步骤和内容	335
7.2	定位基准及选择	337
7.2.1	基准	337
7.2.2	定位基准的选择	339
7.3	工艺路线的制定	342
7.3.1	加工经济精度与加工方法的选择	342
7.3.2	典型表面的加工路线	344
7.3.3	工序顺序的安排	348
7.3.4	工序的集中与分散	350
7.3.5	加工阶段的划分	351
7.4	加工余量、工序尺寸及公差的确定	352
7.4.1	加工余量的概念	352
7.4.2	加工余量的确定	355
7.4.3	工序尺寸与公差的确定	356
7.5	工艺尺寸链	357
7.5.1	直线尺寸链的基本计算公式	357
7.5.2	直线尺寸链在工艺设计中的应用	358
7.6	时间定额和提高生产率的工艺途径	362
7.6.1	时间定额	362
7.6.2	提高劳动生产率的工艺措施	364
7.7	工艺方案的比较与技术经济分析	367
7.7.1	机械加工工艺成本	368
7.7.2	工艺方案的技术经济对比	369
7.8	自动生产线和柔性制造系统	370
7.8.1	自动生产线	370
7.8.2	柔性制造系统	374
	习题与思考题	378
8	装配工艺规程的制定	384
8.1	机器的装配过程和装配精度	384
8.1.1	机器的装配过程	384
8.1.2	机器的装配精度	386

8.1.3	装配工艺规程的制定方法	390
8.2	装配尺寸链	393
8.2.1	装配尺寸链的定义和形式	393
8.2.2	装配尺寸链的建立	395
8.3	利用装配尺寸链达到装配精度的方法	399
8.3.1	互换法	399
8.3.2	分组法	401
8.3.3	修配法	404
8.3.4	调整法	409
	习题与思考题	414
9	精密、特种加工和新技术方法简介	416
9.1	金刚石超精密切削	416
9.2	精密磨料加工	417
9.2.1	金刚石砂轮和 CBN(立方氮化硼)砂轮磨削	418
9.2.2	精密砂带抛光	418
9.2.3	游离磨料研磨抛光	419
9.2.4	珩磨	419
9.2.5	超精研	420
9.3	超声波加工	420
9.4	电解加工	422
9.5	电铸加工	422
9.6	电火花成形加工与线切割	424
9.6.1	电火花成形加工	424
9.6.2	电火花线切割加工	425
9.7	电子束加工和离子束加工	425
9.7.1	电子束加工	426
9.7.2	离子束加工	427
9.8	激光加工	428
9.9	快速成形制造技术	429
9.10	微机械的制造技术	430
9.11	高速切削技术	432
	参考文献	435

金属切削的基本要素



金属切削刀具和工件按一定规律作相对运动,通过刀具上的切削刃切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都合乎预定要求,这样的加工称为金属切削加工。成形运动和刀具是实现工件切削加工过程的两个基本要素。

1.1 工件表面的形成方法和成形运动

零件的形状是由各种表面组成的,表面成形原理是切削加工方法设计的基础。

1.1.1 工件的加工表面及其形成方法

1. 被加工工件的表面形状

图 1-1 是机器零件上常用的各种表面。可以看出,零件表面是由若干种基本表面组成的,如图 1-2 所示,这些基本表面是:平面、直线成形表面、圆柱面、圆锥面、球面、圆环面、螺旋面等。

2. 工件表面的形成方法

一般的基本表面都可以看作是一条母线沿着一条导线运动形成的,母线和导线统称为形成表面的发生线。

为得到平面(图 1-2(a)),可以使直线 1(母线)沿着直线 2(导线)移动。直线 1 和 2 就是形成平面的两条发生线。为得到直线成形表面(图 1-2(b)),需使直线 1(母线)沿着曲线 2(导线)移动。直线 1 和曲线 2 就是形成直线成形表面的两条发生线。同样,为形成圆柱面(图 1-2(c)),需使直线 1(母线)沿圆 2(导线)运动,直线 1 和圆 2 就是它的两条

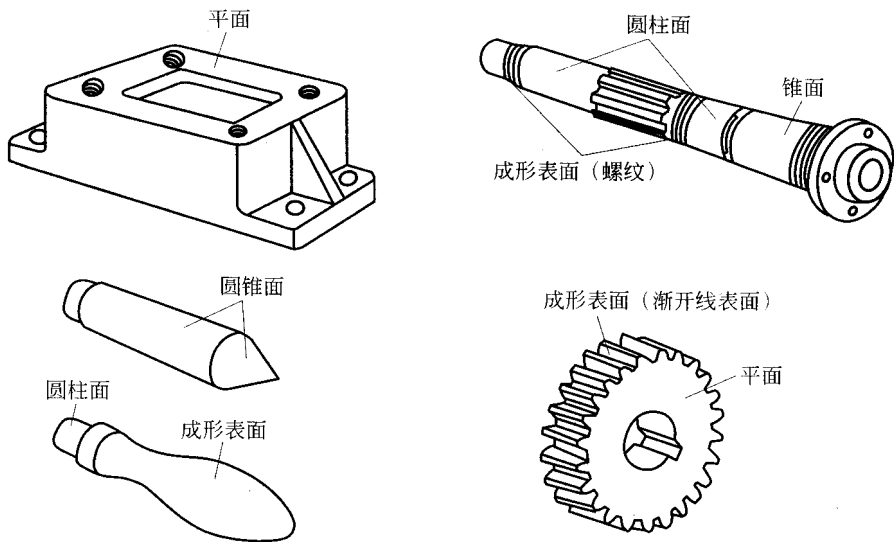


图 1-1 机器零件上常用的各种典型表面

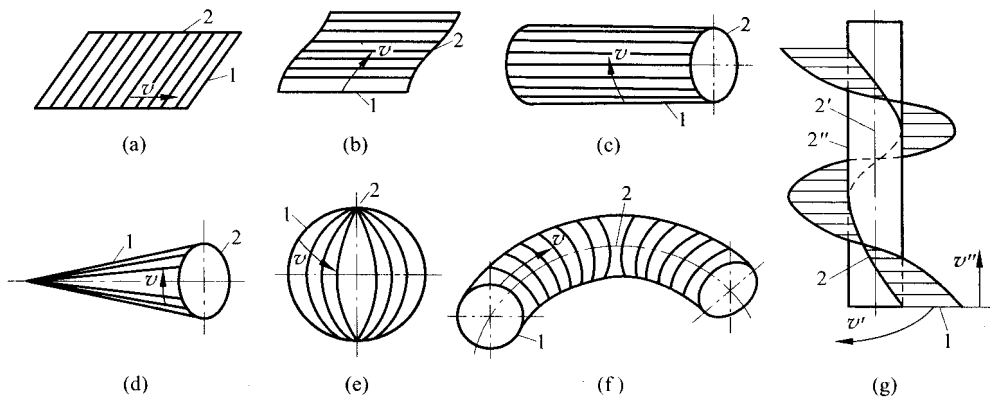


图 1-2 组成工件轮廓的几种基本表面

发生线,等等。

有些表面的两条发生线相同,但因母线的原始位置不同,也可形成不同的表面。如图 1-3 中,母线皆为直线 1,导线皆为圆 2,轴心线皆为 OO ,所需要的运动也相同。但由于母线相对于旋转轴线 OO 的原始位置不同,所产生的表面也就不同,如圆柱面、圆锥面或双曲面等。

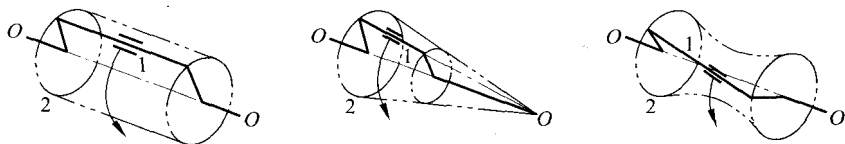


图 1-3 母线原始位置变化时形成的表面

3. 发生线的形成方法及所需的运动

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,形成发生线的方法可归纳为以下 4 种:

(1) 轨迹法。如图 1-4(a)所示,切削刃为切削点 1,它按一定规律作轨迹运动,从而形成所需要的发生线 2。

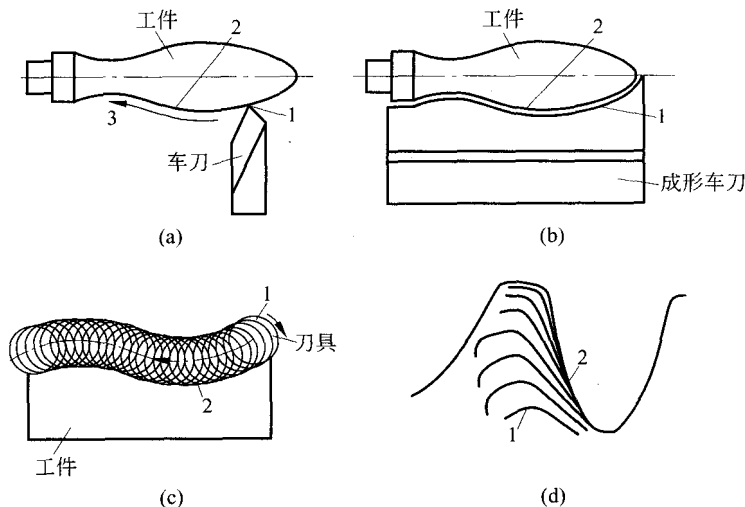


图 1-4 形成发生线的 4 种方法

(2) 成形法。如图 1-4(b)所示,它是利用成形刀具对工件进行加工的方法,切削刃为一条切削线 1,它的形状和长短与需要形成的发生线 2 完全一致。因此,用成形法来形成发生线不需要专门的成形运动。

(3) 相切法。如图 1-4(c)所示,刀具旋转,刀具的旋转中心按一定规律运动,刀具上切削刃 1 的运动轨迹与工件表面相切,从而形成了发生线 2。用相切法形成发生线需要两个成形运动,一个是刀具的旋转运动,另一个是刀具中心按一定规律的运动。

(4) 展成法。如图 1-4(d)所示,它是利用工件和刀具作展成切削运动的加工方法。刀具切削刃为切削线 1,它与需要形成的发生线 2 的形状不吻合。切削线 1 与发生线 2

彼此作无滑动的纯滚动,发生线 2 就是切削线 1 在切削过程中连续位置的包络线。

1.1.2 表面成形运动

为了获得所需的工件表面形状,必须使刀具和工件按上述 4 种方法完成一定的运动,这种运动称为表面成形运动。

1. 表面成形运动分析

表面成形运动是保证得到工件要求的表面形状的运动。例如,图 1-5 是用车刀车削外圆柱面,形成母线和导线的方法都属于轨迹法。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(牛头刨床和插床)或工作台带着工件(龙门刨床)作往复直线走刀运动,产生母线;工作台带着工件(牛头刨床和插床)或刀架带着刀具(龙门刨床)作间歇直线进给运动,产生导线。

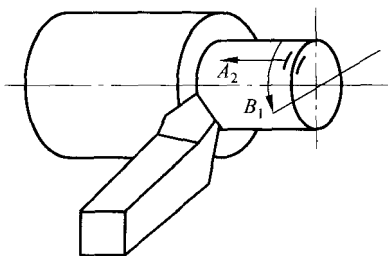


图 1-5 车削外圆柱表面时的成形运动

1) 成形运动的种类

以上所说的成形运动都是旋转运动或直线运动。这两种运动最简单,也最容易得到,因而都称为简单成形运动。在机床上,它以主轴的旋转,刀架或工作台的直线运动的形式出现。一般用符号 A 表示直线运动,用符号 B 表示旋转运动。

有些成形运动是由简单运动复合形成的。图 1-6(a)所示为用螺纹车刀车削螺纹。螺纹车刀是成形刀具,其形状相当于螺纹沟槽的轴剖面形状。因此,形成螺旋面只需一个运动:车刀相对于工件做螺旋运动。在机床上,最容易得到并最容易保证精度的是旋转运动(如主轴的旋转)和直线运动(如刀架的移动)。因此,把这个螺旋运动分解成等速旋转运动和等速直线运动,在图 1-6(b)中,以 B_{11} 和 A_{12} 代表,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 B_{11} 和 A_{12} 必须严格保持相对关系,即

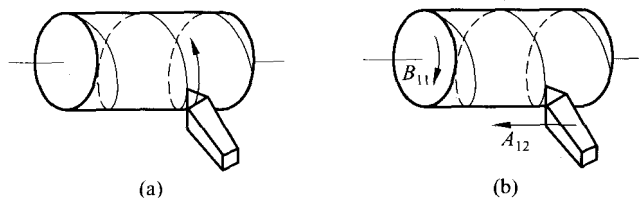


图 1-6 加工螺纹时的运动