

普通高等院校机电工程类规划教材

机械制造技术 基础

主编 于涛 杨俊茹 王素玉

普通高等院校机电工程类规划教材

机械制造技术基础

主编 于涛 杨俊茹 王素玉

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书以金属切削加工基本理论为基础,以切削加工过程工艺设计为主线,以刀具、机床、夹具、工艺四个方面知识模块的系统分析为目标,兼顾机械制造学科理论与现代制造技术的前沿知识。本书可作为普通高校机械类和近机械类专业基础课教材,也可供工厂、企业、科研院所从事机械制造、机械设计工作的工程技术人员参考。

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

机械制造技术基础/于涛等主编. --北京:清华大学出版社, 2012.2

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-27596-1

I. ①机… II. ①于… III. ①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(2011)第271400号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 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:保定中画美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.75 字 数:547千字

版 次:2012年2月第1版 印 次:2012年2月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:42.00元

产品编号:035947-01

前 言

机械制造技术基础是机械类专业的一门主干专业基础课,内容覆盖金属切削原理和刀具、机械加工方法及设备、机床夹具设计、机械制造工艺学等,存在信息量庞杂、知识点之间缺乏有效联系、系统性差等问题。为适应高等教育改革和培养专业理论知识扎实、职业素养好、实践动手能力和创新能力强的复合型人才需要,编者在总结教学经验、参考相关教材的基础上,编写本教材。

教材的编写以金属切削基本原理为基础,以制造工艺为主线,以产品质量、加工效率与经济性三者之间的优化为目标,兼顾了解工艺装备知识及现代制造技术发展等内容。全书以刀具、机床、夹具、工艺四个方面知识模块的系统分析为主要内容,在保证基本理论系统完整的基础上,在不同章节适时增加了机械制造加工业的前沿信息,以保证内容的完整性和新颖性。

全书的特点为整体性、系统性强,可作为普通高校机械类和近机械类专业机械制造技术基础课教材,也可供工厂、企业、科研院所从事机械制造、机械设计工作的工程技术人员参考。

本书由山东科技大学于涛、杨俊茹、王素玉担任主编,王叶青、迟京瑞、王海霞、丁淑辉参加编写。编写分工如下:王素玉编写第1章;杨俊茹编写第2章;于涛编写第3章;王海霞编写第4章;王叶青编写第5章;于涛、迟京瑞编写第6章;王素玉、杨俊茹编写第7章;丁淑辉编写第8章。于涛、王素玉负责全书的修订。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,诚恳希望读者批评指正。

编 者

2011年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
思考题	3
第 2 章 金属切削过程及其控制	4
2.1 金属切削基本知识	4
2.1.1 工件表面的形成方法和成形运动	4
2.1.2 加工表面和切削用量	9
2.1.3 刀具角度	10
2.1.4 切削层参数和切削方式	19
2.1.5 刀具材料	20
2.2 金属切削过程中的变形	27
2.2.1 切削变形过程	28
2.2.2 切削过程中的变形区及其变形特点	29
2.2.3 切削过程变形程度衡量参数	33
2.2.4 影响切屑变形的因素	37
2.2.5 切屑的种类及控制	39
2.3 切削力	42
2.3.1 切削力的来源	42
2.3.2 切削力分析	42
2.3.3 切削力测量	43
2.3.4 切削力计算	44
2.3.5 影响切削力的因素	45
2.4 切削热和切削温度	48
2.4.1 切削热的产生与传出	49
2.4.2 切削温度的测量	49
2.4.3 刀具切削温度分布规律	49
2.4.4 影响切削温度的因素	51
2.5 刀具失效和刀具寿命	54
2.5.1 刀具失效形式	55
2.5.2 刀具磨损原因及过程	57
2.5.3 刀具使用寿命及其与切削用量之间的关系	60
2.5.4 刀具合理使用寿命的选择	62
2.6 刀具几何参数和切削用量的合理选择	64
2.6.1 刀具几何参数的合理选择	64

2.6.2 切削用量的合理选择	71
2.7 磨削原理	74
2.7.1 砂轮的特性和选择	74
2.7.2 磨削过程及磨削温度	79
本章基本要求	81
思考题与习题	81
小论文参考题目	83
第3章 金属切削加工方法及装备	84
3.1 概述	84
3.1.1 机床的基本组成和技术性能	84
3.1.2 机床的分类和型号编制	85
3.1.3 机床的运动分析	88
3.2 外圆表面加工	91
3.2.1 外圆表面的车削加工	91
3.2.2 外圆表面的磨削加工	101
3.2.3 外圆表面的光整加工	105
3.3 孔加工	106
3.3.1 钻孔、扩孔和铰孔	107
3.3.2 镗孔	116
3.3.3 磨孔	120
3.3.4 珩磨孔	121
3.3.5 拉孔	122
3.4 平面加工	124
3.4.1 铣平面	125
3.4.2 刨平面	130
3.4.3 磨平面	131
3.5 齿轮加工	132
3.5.1 齿形加工原理	133
3.5.2 滚齿	133
3.5.3 其他齿轮加工方法	136
3.6 数控加工	139
3.6.1 数控机床的基本工作原理	139
3.6.2 数控机床的分类	139
3.6.3 数控机床应用范围及特点	143
本章基本要求	144
思考题与习题	144
小论文参考题目	145

第4章 机床夹具设计原理	146
4.1 概述	146
4.1.1 工件的安装	146
4.1.2 机床夹具的分类	147
4.1.3 机床夹具的组成	148
4.1.4 机床夹具的作用	148
4.2 工件在夹具中的定位	148
4.2.1 定位和基准的概念	149
4.2.2 工件的定位原理	150
4.2.3 工件的定位方法与定位元件	152
4.3 定位误差的分析与计算	161
4.3.1 定位误差及其产生原因	161
4.3.2 定位误差的计算实例	164
4.4 工件在夹具中的夹紧	169
4.4.1 夹紧装置的组成和要求	169
4.4.2 夹紧力的确定	169
4.4.3 典型夹紧机构	171
4.4.4 夹紧动力源	179
4.5 各类机床夹具	181
4.5.1 钻床夹具	181
4.5.2 铣床夹具	186
4.5.3 车床夹具	189
4.5.4 数控机床夹具	191
4.6 机床夹具的设计步骤与方法	196
本章基本要求	198
思考题与习题	198
小论文参考题目	202
第5章 机械加工工艺规程设计	203
5.1 机械加工工艺过程基本概念	203
5.1.1 工艺规程及其作用	203
5.1.2 机械加工工艺过程的基本组成	204
5.1.3 工艺规程的类型及格式	205
5.1.4 生产纲领、生产类型及其工艺特征	209
5.2 机械加工工艺规程制订	211
5.2.1 工艺规程设计的原则及步骤	211
5.2.2 产品的零件图与装配图的分析	211
5.2.3 毛坯的确定	213
5.2.4 定位基准选择	215

5.2.5	工艺路线的拟定	220
5.2.6	机床及工艺装备的选择	227
5.2.7	切削用量的确定	228
5.2.8	时间定额的确定	228
5.3	工序尺寸和工艺尺寸链计算	229
5.3.1	加工余量的确定	229
5.3.2	工序尺寸及其公差的确	234
5.3.3	工艺尺寸链计算	235
5.4	工艺规程(方案)的技术经济分析	244
5.4.1	劳动生产率分析	244
5.4.2	工艺成本分析	245
5.5	制订机械加工工艺规程设计实例	247
5.5.1	轴类零件的加工工艺分析	247
5.5.2	CA6140 车床主轴的工艺过程分析	250
5.5.3	圆柱齿轮加工	254
	本章基本要求	258
	思考题与习题	258
	小论文参考题目	259
第 6 章	机械加工质量分析与控制	260
6.1	机械加工精度概述	260
6.1.1	加工精度与加工误差	260
6.1.2	获得加工精度的方法	261
6.1.3	工艺系统的原始误差	262
6.1.4	研究机械加工精度的方法	262
6.2	工艺系统原始误差对加工精度的影响	263
6.2.1	工艺系统的几何误差对加工精度的影响	263
6.2.2	工艺系统的受力变形对加工精度的影响	267
6.2.3	工件内应力对加工精度的影响	272
6.2.4	工艺系统受热变形对加工精度的影响	273
6.3	加工误差统计分析	277
6.3.1	加工误差的分类	277
6.3.2	分布图分析法	278
6.3.3	点图分析法	282
6.4	机械加工表面质量	286
6.4.1	机械加工表面质量概述	286
6.4.2	机械加工表面质量对机器使用性能的影响	287
6.4.3	影响表面粗糙度的因素	289
6.4.4	影响加工表面层物理力学性能的因素	291

6.4.5 提高机械加工表面质量的方法	293
6.5 机械加工过程中的振动	294
6.5.1 机械振动的基本概念	295
6.5.2 机械加工过程中的强迫振动	295
6.5.3 机械加工过程中的自激振动	297
本章基本要求	298
思考题与习题	299
小论文参考题目	300
第7章 机械装配工艺规程设计	301
7.1 机械装配概述	301
7.1.1 装配的概念	301
7.1.2 装配的组织形式	301
7.1.3 装配精度	302
7.1.4 装配系统图与装配单元	303
7.2 产品结构的装配工艺性	304
7.3 装配尺寸链	305
7.3.1 装配尺寸链的概念	305
7.3.2 装配尺寸链的建立	305
7.3.3 装配尺寸链的计算方法	309
7.4 保证装配精度的装配方法	311
7.4.1 互换装配法	311
7.4.2 选择装配法	314
7.4.3 修配装配法	315
7.4.4 调整装配法	320
7.5 装配工艺规程的制定	321
7.5.1 制定装配工艺规程应遵循的基本原则和所需的原始资料	321
7.5.2 制定装配工艺规程的步骤	322
本章基本要求	323
思考题与习题	324
小论文参考题目	325
第8章 机械制造技术发展	326
8.1 先进制造技术概述	326
8.1.1 先进制造技术的提出	326
8.1.2 先进制造技术的含义	328
8.1.3 先进制造技术的内容	328
8.1.4 先进制造技术的分类	329
8.2 先进制造工艺	330

8.2.1	超高速加工	330
8.2.2	超精密加工	333
8.2.3	微机械与微细加工	337
8.2.4	纳米技术	340
8.2.5	快速原型技术	341
8.2.6	现代表面工程	344
8.3	柔性制造系统	346
8.4	计算机集成制造系统	348
8.4.1	计算机集成制造技术的提出	348
8.4.2	计算机集成制造系统的含义及发展过程	349
8.4.3	CIMS 的系统结构	350
本章基本要求		351
小论文参考题目		351
参考文献		352

第1章 绪论

1. 机械制造业的地位和作用

机械制造业是现代工业的主体,是国民经济的支柱产业,是国家工业体系的重要基础和国民经济各部门的装备部。在国民经济的各个行业中所使用的各种各样的机械仪器及工具,其性能、质量都受机械制造业生产能力、加工效率的影响。因此,机械制造业对整个工业的发展起到基础和支撑作用,机械制造技术水平的提高对整个国民经济的发展,以及科技、国防实力的提高有着直接和重要的影响,是衡量一个国家科技水平和综合国力的重要标志。

在相当长的时期里,中国经济需要靠制造业牵引。制造业增加值在国内生产总值中所占的比重一直维持在40%以上。没有制造业的提高和发展,其他产业也不可能良性发展,无论科学技术怎样进步,发展先进的制造业是抓住“发展”这个主题的关键。

近年来,微电子技术、计算机技术、网络信息技术与机械制造技术的深度结合,将传统的制造技术带入了一个崭新的境界,计算机辅助技术(CAX)、计算机集成制造系统、数控技术、柔性制造系统等先进的制造系统和制造模式改变了传统制造业的面貌。目前,我国机械工业产品的生产已具有相当大的规模,形成了产品门类齐全、布局合理的机械制造业体系,在制造技术和生产装备方面正在努力赶超世界先进水平。

2. 机械制造技术概述

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。制造技术是制造业赖以生存和发展的技术基础,其基本组成可分为三类:传统制造技术、先进制造技术和高制造技术。传统制造技术即传统的铸造、锻造、热处理、电镀、车铣刨磨等技术;先进制造技术主要是信息技术与传统制造技术相结合的制造技术;高制造技术主要是生物、纳米、新材料、新能源等高技术的发展而引发的制造技术,其最具代表性的是微/纳米制造技术、生物制造技术。

21世纪制造技术的发展趋势如下所述:

(1) 高技术化。在高技术的带动下,制造技术的发展也将出现前所未有的新进展,一批研发投入比例高、职工中科技人员比例高、技术含量高等符合高技术特征的制造技术应运而生。

(2) 信息化。信息技术与制造技术相融合,将进一步给制造技术带来深刻的、甚至是革命性的变化。

(3) 绿色制造。可持续发展战略与规划将对企业在合理开采和利用自然资源、从源头杜绝污染和破坏生态环境、开创更多就业机会三方面提出更高的要求。

(4) 极端制造。制造技术正从常规制造、传统制造向非传统制造及极端制造方向发展。

(5) 重视基础技术。近几年来,国外在加强技术创新、强化原创性技术研究开发的同时,提出了以制造业救国的口号,并以振兴制造基础技术来提高制造业产业竞争力。

3. 机械制造系统相关概念

(1) 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 狭义的制造是机电产品的机械加工工艺过程。

② 广义的制造是按照国际生产工程学会(CIRP)定义的,制造是涉及制造业中产品设计、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。

(3) 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。

(4) 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)所组成,是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。

4. 机械制造技术基础的性质及研究内容

机械制造是机械工程学科的重要分支,是一门研究各种机械制造过程和方法的科学。

机械制造技术基础是研究机械制造系统和机械制造方法的一门重要的专业技术基础课程,是机械设计制造及其自动化专业的主干专业课程。机械制造技术基础主要介绍机械加工过程及工艺装备、机械产品的生产过程及生产过程的组织,包括金属切削过程及其基本规律,机床、刀具及夹具的基本知识,机械加工和装配工艺规程的设计,机械加工精度及质量的概念,先进制造技术发展的前沿与趋势。

机械制造技术基础的主要内容包括:

- (1) 金属切削过程的基本规律;
- (2) 金属切削机床、刀具及夹具的基本知识;
- (3) 机械制造工艺与装配的基本理论和基本方法;
- (4) 先进制造技术与系统的基本原理及实现方法。

5. 机械制造技术基础的任务及要求

机械制造技术基础的任务是通过学习使学生获得机械加工过程所必须具备的基础理论和基本知识。要求学生能对制造活动有一个总体的、全面的了解与把握,能够掌握金属切削过程的基本规律,掌握机械加工的基本知识,初步具备解决现场一般切削加工工艺技术问题的能力,能够初步掌握分析机床运动、刀具结构、夹具设计及加工参数选择等基本方法,具备编制零件工艺规程的能力,掌握机械加工精度和表面质量分析的基本知识,了解当今先进制造技术和先进制造模式的发展概况,初步具备综合分析机械制造过程中质量、生产率和经济性问题的能力。

机械制造技术基础是一门实践性很强的专业技术基础课程,在学习过程中,要注意与教

学实践(实习、实验、设计)密切配合,必须在教学实践中获得感性认识的基础上进行理论学习才能获得较好的学习效果。因此,希望学习本书时必须重视实践环节,即通过实验、实习、设计及工厂调研来更好地体会、加深理解。

思 考 题

1. 简述我国机械制造技术的发展历程带来的启示。
2. 浅议对我国机械制造业发展的认识。

第 2 章 金属切削过程及其控制

金属切削加工就是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符合预定要求的机械加工工艺。

为实现金属切削加工,必须具备以下条件:工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动,也是成形运动;刀具材料必须具有一定的切削性能;刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度;具备良好的切削环境等。切削过程中,会产生切削变形、切削力、切削热和刀具失效等现象。

本章在讲授金属切削基本知识的基础上,对切削过程中的上述各种现象进行阐述,揭示它们的产生机理和相互之间的内在联系。通过对本章的学习,使学生掌握金属切削加工过程中的基本理论和基本规律,培养学生在实际零件加工过程中,对高质、高效、低成本优质加工过程的实践控制能力。

2.1 金属切削基本知识

2.1.1 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,零件的切削加工实际是表面成形的问题。

1. 工件的加工表面

不论零件的形状如何复杂,其表面都是由若干种基本表面组成的,主要的基本表面如图 2.1 所示。

2. 工件表面的形成方法

任何规则表面都可以看作是一条线(称为母线)沿着另一条线(称为导线)运动的轨迹,如图 2.1 所示。母线和导线统称为形成表面的发生线。

根据母线和导线是否可以互换,规则表面又可以分为以下两种。

(1) 可逆表面:形成表面的两条发生线(母线和导线)可以互换,而不改变形成表面的性质,如图 2.1(a)、(b)、(c)等所示。

(2) 不可逆表面:母线和导线不可以互换。

另外,有些表面的两条发生线完全相同,只因母线的相对位置不同,也可形成不同的表面,如图 2.2 中的圆柱面、圆锥面和双曲面。

3. 形成发生线的方法及所需运动

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 4 种,分别是轨迹法、成形法、相切法和展成法。

(1) 轨迹法:利用刀具作一定规律的轨迹运动对工件进行加工的方法。如图 2.3 所

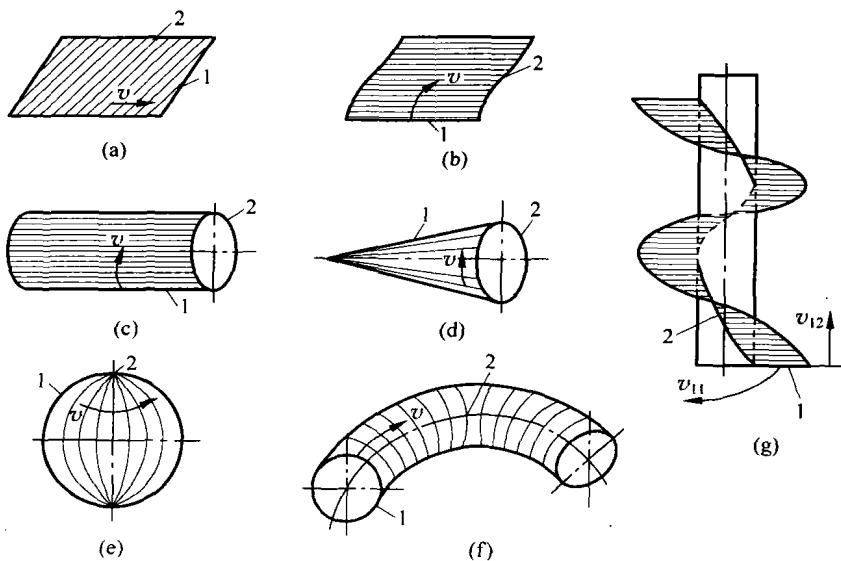


图 2.1 组成工件轮廓的几种基本表面

(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
1—母线；2—导线

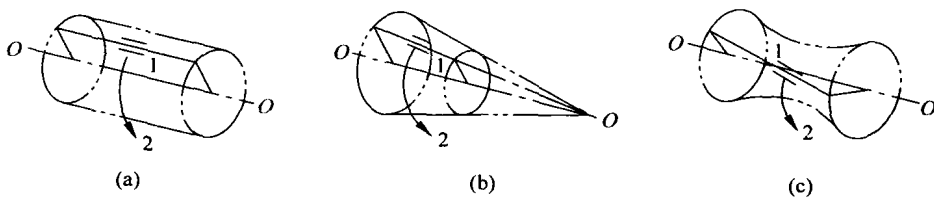


图 2.2 母线原始位置变化时形成的表面

1—母线；2—导线

示,刀刃为切削点 1,它按一定轨迹运动,形成所需的发生线 2,形成发生线需要一个成形运动。

(2) 成形法: 利用成形刀具对工件进行加工的方法。如图 2.4 所示,刀刃为切削线 1,它的形状和长短与需要形成的发生线 2 完全重合,刀具无须任何运动就可以得到所需的发生线形状。因此,用成形法来形成发生线不需要专门的成形运动。

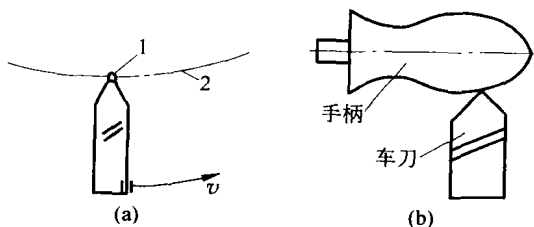


图 2.3 轨迹法

1—切削点；2—发生线

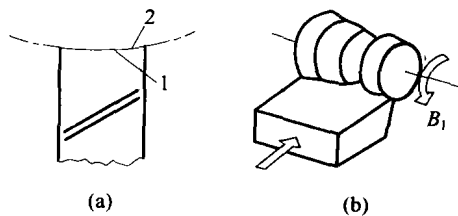


图 2.4 成形法

1—切削线；2—发生线

(3) 相切法：利用刀具边旋转边作轨迹运动对工件进行加工的方法。如图 2.5 所示，刀刃为旋转刀具(铣刀或砂轮)上的切削点 1，刀具作旋转运动的同时，其中心按一定规律运动，切削点 1 的运动轨迹与工件相切，形成了发生线 2。由于刀具上有多个切削点，发生线 2 是刀具上所有的切削点在切削过程中共同形成的。因此，利用相切法形成发生线需要两个成形运动：刀具的旋转运动和刀具中心按一定规律的运动。

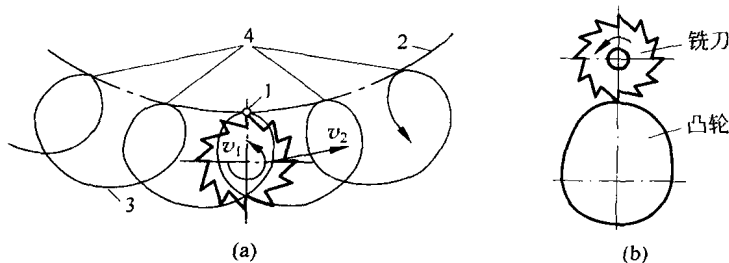


图 2.5 相切法

1—切削点；2—发生线；3—切削点的运动轨迹；4—工件中心

(4) 展成法：利用工件和刀具作展成切削运动对工件进行加工的方法。如图 2.6 所示，刀刃为切削线 1，它的形状和长短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。

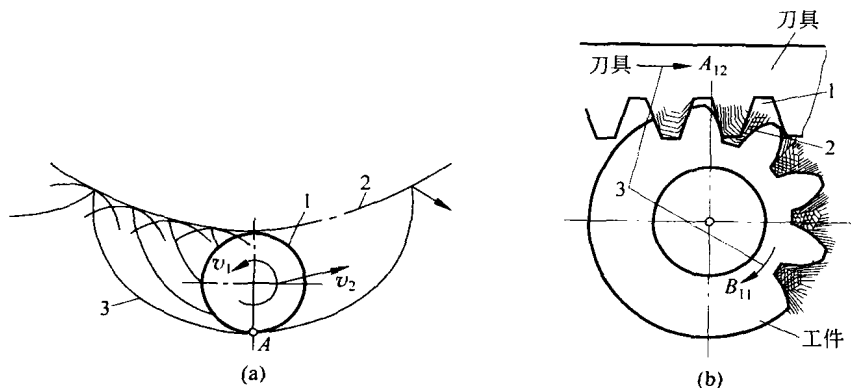


图 2.6 展成法

1—切削线；2—发生线；3—复合运动轨迹

在形成发生线 2 的过程中，或者仅由切削线 1 沿着由它生成的发生线 2 滚动；或者切削线 1 和发生线 2(工件)共同完成复合的纯滚动，这种运动称为展成运动。

因此，利用展成法形成发生线需要一个成形运动(展成运动)。

4. 表面成形运动

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。母线和导线是形成零件表面的两条发生线，因此形成表面所需要的成形运动就是形成其母线及导线所需要的成形运动的总和。

1) 简单成形运动和复合成形运动

表面成形运动分为简单成形运动和复合成形运动。

(1) 简单成形运动: 形成发生线所需要的各运动单元之间不需要保持准确的速比关系。如图 2.7 所示, 车削外圆柱面时, 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 就是两个简单成形运动, 下标 1、2 表示简单成形运动次序。

简单成形运动可以是旋转运动, 也可以是直线运动, 一般以主轴的旋转、刀架或工作台的直线运动的形式出现。其中, 旋转运动用 B_x 表示; 直线运动用 A_x 表示; 下标 x 表示独立运动的数目。

(2) 复合成形运动: 形成发生线所需要的各运动单元之间需要保持严格的相对运动关系, 相互依存, 而不是独立的。一个复合成形运动可以分解为两个甚至更多的简单运动。复合成形运动是一个运动, 而不是两个或两个以上的简单运动。

例如, 车螺纹、加工齿轮时都存在复合成形运动。

复合成形运动中的旋转运动单元用 B_{xy} 表示, 直线运动单元用 A_{xz} 表示, 其中, x 表示独立运动的数目, y, z 表示组成第 x 个运动的第 y, z 个运动。

2) 零件表面成形运动分析实例

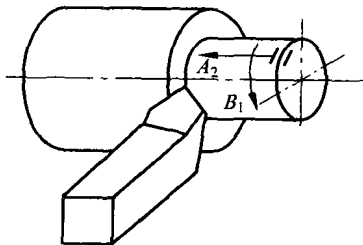


图 2.7 简单成形运动

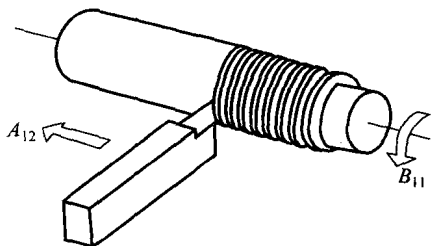


图 2.8 用螺纹车刀车削螺纹

【例 2.1】 用成形车刀车削成形回转表面(见图 2.4(b))。

母线: 曲线, 由成形法形成, 不需要成形运动。

导线: 圆, 由轨迹法形成, 需要一个成形运动 B_1 。

表面成形运动的总数为 1 个—— B_1 , 是简单的成形运动。

【例 2.2】 用螺纹车刀车削螺纹(见图 2.8)。

母线: 车刀的刀刃形状与螺纹轴向剖面轮廓的形状一致, 故母线由成形法形成, 不需要成形运动。

导线: 螺旋线, 由轨迹法形成, 需要一个复合成形运动。工件旋转 B_{11} 和刀具直线移动 A_{12} 。

表面成形运动的总数为一个—— $B_{11} A_{12}$, 是复合成形运动。

【例 2.3】 用齿轮滚刀加工直齿圆柱齿轮(见图 2.9)。

母线: 渐开线, 展成法形成, 复合成形运动, 滚刀旋转 B_{11} 和工件旋转 B_{12} 。

导线: 直线, 相切法形成, 两个简单的成形运动, 滚刀旋转 B_{11} 和滚刀沿工件的轴向移动 A_2 。

表面成形运动的总数为两个: 复合成形运动 $B_{11} B_{12}$ 和简单成形运动 A_2 。

【例 2.4】 用螺纹车刀加工锥螺纹(见图 2.10)。

母线: 成形法。