



Education

制造方法基础与提高

Introduction to Manufacturing Processes

(美) 约翰 A. 斯奇 (John A. Schey) 著

王贵明 傅水根 等译
郭金星 李双寿



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



制造方法基础与提高

(美) 约翰 A. 斯奇(John A. Schey) 著

王贵明 傅水根 郭金星
李双寿 洪 亮 姚启明
张魁武 郭卫源 邱柳卿 等译
任继舜 秦 卓



机械工业出版社

John A. Schey

Introduction to Manufacturing Processes, Third Edition

ISBN: 0-07-031136-6

Copyright © 2000, 1987, 1977 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2002-0437

本书是全面讲述有关制造的书籍。

内容涉及制造的设计、工艺、材料、设备、生产、环境、再生及管理等诸多方面,包括的专业范围由传统的铸、锻、焊、冲压、轧制到新兴的粉末冶金、陶瓷、塑料、复合材料、表面处理及半导体制造等,贯穿众多内容的主线则是基础理论与物理原则。每一章后都附有大量的习题,有助于将理论与原则运用于实际当中。

本书适用于各种水平的读者。对于大专院校制造类专业的学生,可节选与自己有关的章节当作教科书学习。对于从事实际制造工作的专业人员和高、中级技师来说不仅是回顾与复习的读物,更是知识更新换代的不可多得的好书。

本书也特别适合各种类型和水平的进修班学习,在节选并重新按需组合本书内容之后作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

制造方法基础与提高/(美)斯奇(Schey, J. A.)著;王贵明、傅水根等译. —北京:机械工业出版社, 2003.02
书名原文: Introduction to Manufacturing Processes
ISBN 7-111-12706-4

I. 制... II. ①斯...②王...③傅... III. 机械
制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 064017 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: 周国萍

责任编辑: 白刚 版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文

封面设计: 陈沛 责任印制: 施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·26.75 印张·1035 千字

0 001—3 000 册

定价: 70.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

译者序

当前,世界制造业的中心正向我国转移,用高新技术武装的现代制造企业,如汽车、微电子、光机电一体化、生物制药及航天工业正在一个接一个地兴建着产业基地,一派欣欣向荣的景象。

随着外资一起涌入的大量新设备、新工艺、新技术与新的制造技术信息正在改变着制造业的面貌,使之日新月异。而制造业的教育和再教育包括新人材的培养及现从事制造业的工程技术人员知识更新也已成为迫在眉捷的问题。然而在这方面我们做得却很不够,无论在物质准备上还是思想认识上都跟不上制造业发展的步伐。在科技书市中有关制造基础理论及其应用、高精度制造技术发展现状及未来的书籍与充斥市场的外语学习和计算机类书籍相比乃是凤毛麟角。人们对专业知识学习的热情也远不及对外语及计算机学习的兴趣。确实,进入信息时代大大方便了人们对信息的获取,各行各业的进展信息可随手拈来。然而,信息和外语只是工具,只有在服务于物质生产活动(其中制造业起着举足轻重的作用)时才能体现出它们的价值。前者是“毛”,后者是“皮”,“皮之不存,毛将焉附?”。当务之急是扭转学风中的浮躁,踏实地将外语及信息知识用于学习专业知识中。一本好的制造技术的教科书顺理成章地成为这一切的先决条件。

机械工业出版社组织翻译的这本《制造方法概论》为制造业的教育和再教育工程提供了一本及时、恰当的好教材。本书作者是对制造方法有着多年教育与实践经验的教授专家。书中全面介绍了制造业在人类社会发展中的历史地位及当今发展现状,用基本理论、通用的物理原则贯穿各种互不相同的制造工艺,诸如,铸、锻、焊、机加工、热处理、粉末冶金、表面处理,乃至微电子技术及半导体元件的制造。涉及的制造材料除钢、铁、有色金属之外还有陶瓷、塑料、复合材料等非金属材料。书的内容包括了设计、工艺、管理、检测、再生、环保及生产管理、市场竞争等诸多制造业的问题。深入浅出、提纲挈领的讲解使本书适合多层次水平的读者。初入门的学生可将此书当教科书学习,有实践经验的工程技术人员可作为知识更新换代的再教育读物。每个工艺章节之后都附有大量的练习题,不但可加深对基本理论的理解,又为基本理论如何应用于生产实践提供了范

IV 译者序

例。总之，本书是制造业难得一见的优秀出版物。

本书由王贵明、傅水根、郭金星、李双寿、洪亮、姚启明、张勉武、郭卫源、邱柳卿、任继舜、秦卓等合译。

由于译者专业知识及外语水平所限，在有限时间内翻译这样一本涉及全面制造方法的书籍，实属勉为其难，错误和不当之处在所难免，望读者予以批评指正。

译者

2003 年初

前 言

从本书第1版出版以来的二十多年中，制造学科在工程课程中已找到了其相应的位置。它提供了各种水平的制造课程，包括从给入门新生的综合课程到初级和高级班的强化课程。还提供了一些目的是在正确的技术基础上培养管理企业能力的专业教育的分等级大纲，目前这类大纲越来越多。为了适应这些大纲要求，各类学校采用了或正在发展着各种各样的新工艺学。在这期间信息技术呈现了惊人的增长，它不仅对制造技术方面而且也对制造的教育方法产生了重要影响。每年都有大量的改革方法应用于制造教育中，其中许多采用 Web 来丰富教学或进行远程教育。

工业对其用户的态度也有明显变化：生产者和消费者之间的关系确实紧密了。随着消费者的介入，在许多公司并行工程已经成为现实。

所有这些与学生和实习工程师都有关系。现在大量信息不只是从书本中获得，还可从互联网上获得，而且还有日益增多的辅助设计产品和工艺的软件。然而，除非对工艺的物理基础有正确的认识，否则就不能有效地利用它们。因此，无论是什么水平的课程，了解工艺的物理基础都是有关制造课程的主要目标。

本书第2版的目的是借助一些学生未必了解的背景资料加深对这方面的理解。本版继续强调物理基础及其与实际工艺的关系，但同时也有一些重要改变。注意到学生和实习工程师的背景已经发生的变化，增多了章节的数目以便可以把基础知识方面的资料分开自成章节。只有中学物理和化学知识的那些学生可以从这些章节获得足够的基础知识以便进行随后的处理工艺；而具有材料和力学知识的那些人可以把它当作复习材料去读，着眼于它们与制造工艺、产品质量和性能的关系。基础知识材料的章节后面是工艺处理章节。即使对单个工艺作简单描述也将是满满的几册书，因此，本书的重点只在其物理原则上。这些原则对一些表面看起来没有什么关系的工艺是通用的，而且可用于对提出答案的可行性进行判断。

在构成贯穿教科书的通用线索的同时，教师应当认识到可以选择有限的章节，并以与本书不同的排序去讲授。本书内容分成三个主要部分。

第1~5章是准备知识：第1章就制造对人类重要性做总的回顾；第2章略述设计和制造的相互作用，并介绍工艺控制的基本概念；第3章涉及几何形状、尺寸及表面质量；第4章有关制造产品预期的使用性能。第3、4章也讨论了用于制造控制的测量技术。第5章是新增内容，集中于并行工程中产品设计、材料

选择和工艺选用之间的相互关系。在这一章中及整本书中都涉及再生、健康和环境问题。

第6~20章是有关材料将依次经受的工艺。首先是有关金属的基本概念和它们的应用；第6章讨论了制备铸件(第7章)和焊接件(第8章)中的凝固；第8章为变形工艺做准备，如大变形量(第9章)和金属板加工(第10章)。首先提供用于金属的粉末技术(第11章)，然后在对陶瓷的组织 and 性能作一些介绍之后，又用于陶瓷(第12章)。塑料的基础知识(第13章)更多地放在泡沫塑料制造的基本原理中(第14章)，而所有前述材料都在新的一章第15章有关复合材料中引用。金属切削成形(第16章)和特种加工技术(第17章)后面是增加的连接工艺(第18章)及它们在立体自由成形制造中的应用。有关表面处理的新一章(第19章)将这些完全不同的技术放在一起。在对固态电子学简短介绍之后跟着是对制造固态装置工艺的讨论，并将其放在制造业增长领域之一的微电子机械系统生产的显微制造基础上。增长的领域之一。

最后两章专门讲解制造的组织机构和竞争，其中包括了在主要章节中讨论的工艺之间的竞争。

新进展是所有工艺章节中的亮点，因而使学生能感受到前沿技术和精密制造。由现实应用领域中取例说明原则与技术的关系。无论在何处出现的证明，包括定量处理，常使用表格处理。

为实施并行工程，制造工程师需与产品设计者相互配合，而产品设计师必须对设计决定的工艺结果有基本的了解。由于这个原因，工艺的设计含意一直是重点。因此，进行和判断产品设计不是根据这些枯燥的原则，而是对这些规则背后的原因有更充分的了解。为了有助于更好地了解工艺的相互关系，在每一工艺章节中都给出工艺分类，并摘编成表，与章末的小结一起，可以用来正确评价那些由于时间限制而必须略去的技术。

问题已被展开并以三种方式歪出：简单回顾的问题；要做出原因判断的问题；要求定量回答的问题。其中的一些适用于考试。

我们还为本书的使用者提供了一本内容丰富的教师手册。由于这里所提供的材料不可能在一个学期全部讲授，所以，建议根据学生水平不同选择相应内容加以教授。对所有问题，甚至回顾类问题全都有答案。因为对某一问题可以接受选择的答案常常不止一个，因而给出的回答常有详细的解释和提示，以使助教可以判分。

本书的编写得到了许多同事的帮助，他们审阅了某些章节，特别是滑铁卢大学的 H.W.Kerr, A.Plumtree, C.Tzoganakis, R.Varin 和 M.Worswick 以及 IBM T.J.Watson 研究中心的 D.Edelstein。除了在本书中我要特别感谢的公司和个人之外，我还从下述各位处得到有益的信息：P.H.Abramowitz 和 D.A.Yeager (Ford)、

T. Altan (Ohio State University)、R. A. Crockett (Lockheed Martin)、K. F. Hens (Ther-mat)、T. E. Howson (Wyman-Gordon)、M. L. Devenpeck 和 H. R. Zonker (Alcoa)、S. R. Larrabee 及 C. J. Rogers (Modine)、F. Norris (Howmet)、J. D. Schreiber (American Superconductor)、J. Stump (GE Aircraft Engines) 和 A. J. K. Tubman (Tubman Marketing)。

我特别感谢下列各位对原稿进行审阅并提出有益的意见和批评：L. R. Cornwell (Texas A&M University)、A. S. El-Gizawy (University of Missouri at Columbia)、J. G. Lenard (University of Waterloo, Ontario)、D. G. Tomer (Rochester Institute of Technology) 及 A. A. Tseng (Arizona State University)。通过审稿给予有价值的建议，他们是 X. D. Fang (Iowa State University)、J. K. Gershenon (University of Alabama)、D. Hall (Louisiana Technological University)、D. W. Radford (Colorado State University) 及 J. Warner (Milwaukee School of Engineering)。

我特别幸运地得到 McGraw-Hill 人员的支持，特别是：编辑 Jonathan Plant 及助理编辑 Kristen Druffner；项目经理 Kimberly Moranda 及调度 Rose Range。John Corrigan 和 Debra Riegert 是最初的校订者。像前几版一样，我的妻子 Gitta 给予了很大的帮助。

1999.5 于安大略滑铁卢

John. A. Schey

作者介绍

约翰 A. 斯奇博士生于匈牙利，并在那里接受教育。他先后获得 Jozssek Nador Technical University of Sopron 冶金和工程双学士学位(1946 年)、Budapest 科学院 Cand 技术科学博士学位(1953 年)、德国 Stuttgart University 荣誉工学博士(1987 年)及 Miskolc University (他的母校)荣誉工学博士学位(1989 年)。

他曾历任 Budapest Csepel 金属工厂总工艺师(1947 ~ 1951)、匈牙利 Miskolc Technical University 讲师(至 1956 年)、英国铝业公司研究室部门领导(至 1962 年)、芝加哥 IIT 研究院高级冶金顾问(至 1968 年)、芝加哥 Illinois University 冶金工程教授(至 1974 年)及安大略 Waterloo University 机械系教授，并且至今仍保有该校荣誉教授头衔。

他是美国国家工程院院士、匈牙利科学院外籍院士、匈牙利工程院荣誉院士、美国金属学会和制造工程学会会员，并是一名有证的制造工程师。

他曾获得过很多奖项，包括加拿大矿业冶金学院授予的 Dofasco 奖(1984 年)、制造工程师学会授予的金奖(1974 年)，以及英国伦敦金属学会授予的 W. H. A. Robertson 奖和奖章。

他写过很多关于制造工艺、金属加工工艺和金属加工摩擦学方面的书籍和研究论著，包括金属加工中摩擦学专著：《摩擦、润滑和磨损》(美国金属学会，1983)。此外，他还担任过 60 多个工业顾问，有 8 项专利。

目 录

译者序	进一步读物	33
前言	第3章 成品零件的几何学特征	37
作者介绍	3.1 形状	37
第1章 制造导言	3.1.1 形状分类	37
1.1 历史发展	3.1.2 成组工艺	38
1.1.1 早期的发展	3.1.3 机床的运动和控制	39
1.1.2 第一次工业革命	3.2 尺寸	41
1.1.3 第二次工业革命	3.2.1 尺寸单位	41
1.2 制造在经济中的作用	3.2.2 尺寸公差	41
1.3 作为技术活动的制造	3.3 形状和位置偏差	43
1.4 本书的目的和范围	3.4 工程计量学	44
1.5 小结	3.4.1 测量原则	44
进一步读物	3.4.2 量规	47
第2章 制造	3.4.3 分度测量装置	48
2.1 制造企业	3.4.4 比较长度测量	51
2.1.1 编制任务书	3.4.5 光学装置	52
2.1.2 方案设计	3.4.6 测量机	54
2.1.3 产品设计	3.5 表面形貌测量	54
2.1.4 制作或外购	3.5.1 表面粗糙度和波度	54
2.1.5 工艺设计	3.5.2 表面粗糙度和公差	57
2.1.6 生产	3.5.3 表面粗糙度测量	60
2.1.7 用户关系	3.6 小结	60
2.2 顺序制造	进一步读物	63
2.3 并行或同时工程	第4章 制造产品的使用特性	65
2.4 集成制造	4.1 拉伸时的力学性能	65
2.5 制造工艺控制	4.1.1 拉伸试验	65
2.5.1 控制策略	4.1.2 方法/设备相互作用	68
2.5.2 自动化	4.1.3 拉伸时的强度	68
2.5.3 数控(NC)	4.1.4 拉伸时的塑性	71
2.6 小结	4.1.5 确保增加塑性	75

4.1.6 缺口效应	75	5.5 小结	119
4.1.7 弯曲试验	76	进一步读物	119
4.2 冲击能和断裂韧性	78	第6章 金属的凝固和热处理	123
4.3 压缩	79	6.1 凝固	123
4.4 硬度	82	6.1.1 纯金属	123
4.5 疲劳	84	6.1.2 固溶体	126
4.6 高温性能	86	6.1.3 共晶系统	128
4.7 残留应力	88	6.1.4 包晶系统	130
4.8 无损探伤试验(NDT)	90	6.1.5 金属间的相	131
4.9 物理性能	92	6.1.6 非平衡态凝固	131
4.9.1 密度	92	6.1.7 晶粒的成核及长大	133
4.9.2 摩擦性能	92	6.2 固态反应	134
4.9.3 电性能	95	6.3 组织和性能的关系	137
4.9.4 磁性能	96	6.3.1 金属和单相合金	137
4.9.5 热性能	96	6.3.2 两相材料	139
4.9.6 光学性能	97	6.3.3 三元和多元合金	142
4.10 化学性能	97	6.3.4 夹杂物	143
4.11 小结	98	6.3.5 气体	144
进一步读物	102	6.3.6 晶粒尺寸的作用	145
第5章 设计和制造中的材料	105	6.4 热处理	147
5.1 设计	105	6.4.1 退火	147
5.2 工程材料主要分类	108	6.4.2 沉淀强化	147
5.2.1 金属	108	6.4.3 钢的热处理	149
5.2.2 陶瓷	111	6.4.4 钢的表面处理	152
5.2.3 塑料	112	6.5 小结	152
5.2.4 复合结构	113	进一步读物	155
5.2.5 连接	114	第7章 金属铸造	157
5.3 环境方面	115	7.1 铸件的组织和性能	157
5.3.1 对设计的影响	115	7.1.1 熔液的凝固	157
5.3.2 对制造的影响	116	7.1.2 宏观偏析	158
5.4 再生	116	7.2 铸造性能	161
5.4.1 金属	116	7.2.1 粘度	161
5.4.2 陶瓷	117	7.2.2 表面效应	162
5.4.3 塑料	118	7.2.3 流动性	162
5.4.4 复合材料	118	7.3 铸造合金	164

7.3.1 钢铁材料	165	8.1.7 变形和组织间的相互 作用	230
7.3.2 有色金属材料	166	8.2 形变加工机理	234
7.4 熔炼和浇注	171	8.2.1 屈服判据	235
7.4.1 熔炼	171	8.2.2 相关的流变应力	237
7.4.2 浇注	173	8.2.3 摩擦的影响	241
7.4.3 质量保证	173	8.2.4 润滑	242
7.5 铸造工艺	175	8.2.5 不均匀变形	243
7.5.1 分类	175	8.2.6 大变形量的可加工性	245
7.5.2 钢锭铸造	175	8.2.7 板料的可成形性	247
7.5.3 成形铸造	176	8.3 锻造合金	248
7.5.4 一次性铸型和永久性模型 铸造	182	8.3.1 碳钢	248
7.5.5 一次性铸型和一次性模型 铸造	188	8.3.2 合金钢	249
7.5.6 永久型铸造	191	8.3.3 有色金属材料	250
7.5.7 离心铸造	196	8.4 小结	252
7.6 精整工艺	196	进一步读物	255
7.6.1 清理和精整	197	第9章 大变形量工艺	257
7.6.2 在铸造之后改变性能	197	9.1 分类	257
7.7 质量保证	198	9.1.1 变形温度	257
7.7.1 检查	198	9.1.2 变形目的	258
7.7.2 铸造缺陷	198	9.1.3 分析	258
7.8 工艺能力和设计要求	199	9.2 自由锻	261
7.8.1 工艺能力	199	9.2.1 圆柱体的轴向锻粗	261
7.8.2 零件设计	200	9.2.2 矩形工件的锻造	266
7.9 小结	205	9.2.3 自由锻	270
进一步读物	210	9.2.4 工艺能力和设计要求	275
第8章 金属的塑性变形	213	9.3 压模和闭合模锻造	277
8.1 材料性能	214	9.3.1 压模锻	277
8.1.1 在冷加工中的流变应力	214	9.3.2 闭合模锻造	283
8.1.2 不连续屈服	218	9.3.3 锻轧和旋转模锻	284
8.1.3 织构(各向异性)	219	9.3.4 工艺能力和设计要求	285
8.1.4 冷加工的作用	223	9.4 挤压	287
8.1.5 退火	224	9.4.1 挤压工艺	287
8.1.6 热加工	226	9.4.2 热挤压	289
		9.4.3 冷挤压	290

9.4.4 挤压力	291	10.5 张拉成形	346
9.4.5 工艺能力和设计要求	294	10.5.1 张拉成形工艺	346
9.5 锻造和挤压设备	296	10.5.2 张拉成形性	346
9.5.1 工具和模具	296	10.5.3 成形极限图	348
9.5.2 锻锤	299	10.6 深冲	349
9.5.3 压力机	301	10.6.1 深冲工艺	349
9.6 拉拔	303	10.6.2 极限冲压比	351
9.6.1 拉拔工艺	304	10.6.3 进一步深冲	354
9.6.2 力	305	10.7 张拉-深冲	355
9.6.3 工艺能力和设计要求	306	10.8 压制成形	358
9.7 轧制	307	10.9 特殊工艺	359
9.7.1 平轧	308	10.10 金属板加工模具和设备	364
9.7.2 型材轧制	309	10.11 工艺能力和设计要求	365
9.7.3 环的轧制	310	10.12 小结	368
9.7.4 横轧	310	进一步读物	374
9.7.5 力和所需功率	312	第 11 章 粉末冶金	377
9.7.6 工艺能力和设计要求	314	11.1 分类	377
9.8 小结	318	11.2 粉末	377
进一步读物	324	11.2.1 粉末生产	377
第 10 章 金属板加工工艺	327	11.2.2 粉末的特性	380
10.1 板的材料	327	11.2.3 粉末的准备	381
10.1.1 钢	327	11.2.4 配料	381
10.1.2 有色金属	330	11.3 粉末的压实	382
10.1.3 表面形貌	330	11.3.1 冷压制	382
10.2 分类	331	11.3.2 注模法	387
10.3 剪切	331	11.4 烧结和精整	388
10.3.1 剪切工艺	332	11.4.1 烧结	388
10.3.2 力	333	11.4.2 精整	390
10.3.3 改善切割质量	335	11.5 热压实	391
10.3.4 工艺	336	11.6 粉末冶金产品	393
10.4 弯曲	338	11.7 工艺能力和设计要求	395
10.4.1 弯曲工艺	338	11.8 电成形	398
10.4.2 弯曲极限	340	11.9 小结	399
10.4.3 应力和回弹	341	进一步读物	402
10.4.4 弯曲方法	343	第 12 章 陶瓷制造	405

12.1 陶瓷的性能	405	13.6 塑料的性能	463
12.1.1 键和结构	406	13.6.1 力学性能	463
12.1.2 陶瓷的性能	408	13.6.2 物理性能和化学性能	467
12.2 陶瓷制作方法	411	13.7 塑料	468
12.3 陶瓷原料	411	13.7.1 热塑性塑料	468
12.3.1 天然陶瓷原料	411	13.7.2 热固性塑料	473
12.3.2 人造陶瓷原料	413	13.7.3 合成橡胶	475
12.4 陶瓷制作法	415	13.8 小结	476
12.4.1 准备坯料	415	进一步读物	479
12.4.2 陶瓷坯体成形	416	第 14 章 塑料制作	481
12.4.3 生坯的干燥和加工	419	14.1 分类	482
12.4.4 烧结	419	14.2 浇注	482
12.4.5 热压	420	14.3 熔体加工(模塑)	483
12.4.6 应用	421	14.3.1 熔体加工原理	483
12.4.7 工艺能力和设计要求	425	14.3.2 挤出	484
12.5 玻璃	427	14.3.3 注射模塑	492
12.5.1 玻璃的结构和性质	427	14.3.4 其他模塑方法	496
12.5.2 制造工艺过程	429	14.3.5 工艺能力和设计要求	498
12.5.3 施釉	436	14.4 在橡胶状态下的加工	502
12.5.4 工艺能力和设计要求	437	14.4.1 吹塑	503
12.6 小结	437	14.4.2 热成形	505
进一步读物	440	14.4.3 冷拉延	507
第 13 章 聚合物和塑料	443	14.4.4 对模成形	507
13.1 聚合反应	444	14.4.5 工艺能力和设计要求	507
13.2 线型(热塑性)聚合物	446	14.5 粉粒加工技术	508
13.2.1 线型聚合物的结构	446	14.6 泡沫塑料	508
13.2.2 结合力的来源	448	14.7 合成橡胶加工	509
13.2.3 晶体和非晶体聚合 物	449	14.8 塑料加工设备	510
13.2.4 线型聚合物流变学	452	14.9 小结	510
13.3 交联(热固性)聚合物	457	进一步读物	514
13.4 高弹体	459	第 15 章 复合材料	517
13.5 添加剂和填充剂	461	15.1 复合材料分类	517
13.5.1 添加剂	461	15.1.1 颗粒状复合材料	517
13.5.2 填充剂	462	15.1.2 纤维增强材料	518
		15.2 增强纤维	520

15.3 聚合物基复合材料	522	16.5 单刃切削加工	580
15.3.1 聚合物	522	16.5.1 刀具	580
15.3.2 聚合物的应用	522	16.5.2 车削	581
15.4 聚合物基复合材料的制作	524	16.5.3 镗削	582
15.4.1 敞模工艺	524	16.5.4 深孔钻和套孔	583
15.4.2 挤拉成形	527	16.5.5 端面车削	585
15.4.3 对模模压	527	16.5.6 成形刀车成形面	585
15.4.4 工艺能力和设计要求	528	16.5.7 自动车床	585
15.5 金属基复合材料	529	16.5.8 转塔车床	585
15.6 陶瓷基复合材料	531	16.5.9 自动螺纹车床	587
15.7 小结	533	16.5.10 牛头刨和龙门刨	589
进一步读物	536	16.6 多刃切削	589
第 16 章 机械加工	539	16.6.1 钻削	589
16.1 金属切削过程	540	16.6.2 铣削	591
16.1.1 理想垂直切削	540	16.6.3 锯和锉	595
16.1.2 切削力	542	16.6.4 拉削和螺纹切削	596
16.1.3 实际垂直切削	543	16.6.5 齿轮生产	598
16.1.4 斜刃切削	550	16.7 工艺参数的选择	600
16.1.5 力和所需能量	552	16.7.1 切削速度和进给量	600
16.1.6 温度	554	16.7.2 切削时间和功率	604
16.1.7 切削液	556	16.7.3 机床的选择	605
16.1.8 刀具寿命	559	16.7.4 数控和自动化	606
16.1.9 表面质量	564	16.7.5 切削过程优化	609
16.2 加工材料	566	16.8 磨料加工	612
16.2.1 切削加工性	566	16.8.1 分类	612
16.2.2 可切削加工的材料	567	16.8.2 磨料加工的工艺方法	612
16.2.3 钢铁材料	568	16.8.3 磨料	614
16.2.4 有色金属	569	16.8.4 磨削	615
16.3 切削刀具	570	16.8.5 其他粘结磨料的加工 工艺	620
16.3.1 刀具材料	570	16.8.6 使用松散磨料的加工 工艺	622
16.3.2 刀具结构	575	16.9 工艺能力和设计要求	624
16.3.3 刀杆和夹具	577	16.9.1 设计要求	625
16.4 分类	577	16.9.2 精密加工	627
16.4.1 成形法	577		
16.4.2 展成法	577		

16.10 小结	630	18.7.1 化学热源	687
进一步读物	638	18.7.2 高能束焊接	689
第 17 章 特种加工方法	641	18.7.3 切割	690
17.1 分类	641	18.8 液-固态连接	692
17.2 化学加工(CM 或 CHM)	642	18.8.1 连接	692
17.3 电化学加工(ECM)	644	18.8.2 硬钎焊	694
17.4 电火花加工(EDM)	645	18.8.3 软钎焊	696
17.5 高能束加工	648	18.9 粘接	697
17.5.1 电子束加工(EBM)	648	18.9.1 结构胶粘剂的性能	698
17.5.2 激光束加工(LBM)	649	18.9.2 胶粘剂的种类及应用	699
17.6 非金属材料加工	651	18.10 塑料和陶瓷的连接	701
17.6.1 陶瓷加工	651	18.10.1 塑料的连接	701
17.6.2 塑料加工	652	18.10.2 陶瓷的连接	702
17.6.3 复合材料的加工	653	18.11 工艺能力和设计要求	703
17.7 工艺能力和设计要求	654	18.12 层压制品	707
17.8 小结	655	18.13 实体自由成形制造(SFF)	709
进一步读物	657	18.13.1 自由成形制造的应用	710
第 18 章 连接加工	659	18.13.2 SFF 方法	711
18.1 分类	659	18.14 小结	713
18.2 机械连接	660	进一步读物	718
18.3 固态焊接	663	第 19 章 表面处理	721
18.3.1 冷焊	663	19.1 分类	721
18.3.2 扩散焊	665	19.2 去除处理	722
18.3.3 热焊	666	19.3 转换涂层	722
18.3.4 摩擦焊(FRW)	667	19.4 热处理	723
18.4 熔化焊	668	19.4.1 表面热处理	723
18.4.1 熔化焊缝	668	19.4.2 扩散涂层	723
18.4.2 焊接性和焊接质量	671	19.4.3 热浸涂层	724
18.4.3 可焊接材料	675	19.4.4 堆焊(Weld Overlay Coating)	725
18.5 电阻焊	677	19.5 金属涂层	726
18.6 电弧焊	680	19.5.1 电镀	726
18.6.1 非熔化极焊接	681	19.5.2 非电涂层	727
18.6.2 熔化极焊接	683	19.5.3 塑料和陶瓷镀金属	728
18.6.3 熔化焊件焊接	686	19.6 物理气相沉积(PVD)	728
18.7 其他焊接工艺和切割	687		

19.6.1 热物理气相沉积	728	20.6 小结	776
19.6.2 溅射沉积	730	进一步读物	778
19.6.3 离子镀	731	第 21 章 制造系统	781
19.6.4 离子渗碳和渗氮	731	21.1 物料转送	781
19.7 化学气相沉积(CVD)	731	21.1.1 需人伴随的物料转送	782
19.8 离子注入	733	21.1.2 机械化物料转送	782
19.9 有机涂层	733	21.1.3 机器人	783
19.10 工艺能力和设计要求	735	21.2 生产组织	785
19.11 小结	735	21.2.1 生产特点	785
进一步读物	737	21.2.2 最佳的加工制造方法	786
第 20 章 半导体器件的制造	739	21.2.3 大批量生产的组织	788
20.1 半导体器件的基本知识	740	21.2.4 批量生产的组织	789
20.1.1 半导体	740	21.2.5 配装组织	793
20.1.2 半导体器件	743	21.2.6 配装计划	794
20.1.3 集成电路	746	21.3 质量管理	795
20.2 硅晶片的制造	748	21.3.1 质量保证	796
20.2.1 EGS 的生产	748	21.3.2 生产的统计特性	796
20.2.2 晶体生长	748	21.3.3 验收控制	797
20.2.3 晶片的准备	749	21.3.4 统计过程控制	798
20.3 器件制造	750	21.4 制造管理	803
20.3.1 加工工序的简图	750	21.4.1 公司组织	803
20.3.2 基本制造技术	751	21.4.2 制造工程部	804
20.3.3 改变表面成分	752	21.5 小结	805
20.3.4 表面膜层的沉积	754	进一步读物	806
20.3.5 光刻	757	第 22 章 生产过程的竞争理念	809
20.3.6 刻蚀	759	22.1 全球经济的竞争	809
20.3.7 集成工艺	762	22.2 生产成本	810
20.3.8 封装	764	22.2.1 成本与生产率	810
20.4 印制电路板	769	22.2.2 操作成本(直接成本)	812
20.4.1 薄膜的制造方法	769	22.2.3 间接成本	813
20.4.2 厚膜电路	770	22.2.4 固定成本	814
20.4.3 焊接工艺	771	22.3 生产工艺间的竞争	814
20.5 微细加工技术	772	22.4 材料间的竞争	815
20.5.1 微细加工技术	772	22.5 鉴别最佳方案	817
20.5.2 纳米技术	775	22.6 小结	823