

专著 西北工业大学
出版资助项目
ZIZHU XIANGMU

ZHUANZHU

材料加工过程实验建模方法

杨合 詹梅 编著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

西北工业大学出版基金资助项目

材料加工过程实验建模方法

杨 合 詹 梅 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 材料科学与技术的研究与发展迫切需要建立材料成形加工过程的数学模型。材料加工工程是建立在学科基础理论和大量实验基础上的应用技术学科,在很多情况下,理论建模存在很大难度,因此有必要通过一定量的实验建立并求解相关的数学模型。

本书主要内容包括三大部分,即回归分析、试验优化设计以及人工神经网络在实验建模中的应用。其中回归分析又包括简单回归分析、多元最优回归分析;试验优化设计包括简单试验设计、正交试验设计、回归正交试验设计和均匀试验设计。

本书适合作相关专业本科生和研究生的教材,力求培养学生将工程问题模型化、定量化的能力,适应培养高水平、高素质人才的需求。

图书在版编目(CIP)数据

材料加工过程实验建模方法/杨合,詹梅编著. 西安:西北工业大学出版社,2008.12

ISBN 978-7-5612-2219-5

I. 材… II. ①杨…②詹… III. 工程材料—加工—实验—建立模型 研究
IV. TB3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 167657 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029) 88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:20.75

字 数:382 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

前 言

材料、能源和信息构成了人类现代文明的三大支柱,它的发展与应用在一定程度上标志和影响着国家的综合实力。材料加工过程既是材料实现应用的前提,又是对材料的深度加工。可通过改变和控制材料的外部形状和内部组织结构,将材料制造成为形状、尺寸和性能都满足不同需要的零部件产品。因此,材料加工具有技术密集、增值高和技术经济效益显著等特点。作为先进制造技术的重要组成部分,材料加工过程和技术是推动科技进步、国防现代化以及经济和社会发展的必要条件。

材料加工过程的研究任务是发现现象、揭示规律、阐明机理,并使材料加工过程定量化(模型化)和精确化(最优化),其目的是从理论上得出更有效地处理材料加工工艺问题的途径,增加科学预见性,减少依靠经验处理问题的盲目性,改善材料加工过程,进而对材料加工过程进行优化设计与精确控制,从而提高生产效率,提高产品质量,更合理地利用材料、节约材料和能源,并使其发展成为高质量、短周期、低成本、节约型的先进加工技术。

材料加工工程是一门建立在基础理论和大量实验基础上的技术学科,而材料加工过程往往是多工步、多因素耦合和多场耦合,包含几何、物理和边界条件三重高度非线性的复杂过程,有很多问题到目前也难以完全明确其物理机制,即使在完全明确其物理机制后,要想从理论角度用数学解析方法直接描述也是非常困难的。因此,材料加工工程学科远不像数学、物理学那样有系统和缜密的理论和精确的数学描述方法。如何从材料加工过程明晰的基本概念出发,通过深入思考,抓住主要矛盾,尽可能地实现材料加工过程定量化和精确化的描述与分析,直至优化设计与精确控制,即使难以做到也要尽可能实现定性描述其规律,这是我和我的团队多年来铭心向往和投入热情的一项追求。材料加工过程实验建模方法也正在朝着这一目标前进,以至于作者努力写出这样一部书来贡献于相关领域的学者和学生。从控制和提高材料成形加工质量的角度来看,如果我们明确了影响材料加工过程和质量(包括性能、组织、形状尺寸精度)的主要因素,以此为基础,主动设计并进行一定量的实验,进而获得这些因素和影响结果的数据,就有可能建立影响材料加工过程和质量的主要因素的数量或半数量的关联关系。这一环节即构成了材料先进加工技术走向实用化的关键一步,这也就是材料加工过程实验建模方法所要关注的目标。其研究内容包括:①如何以尽可能少的主动实验获取尽可能多的反映事物本质的信息,这涉及实验的优化设

计,包括正交试验设计、均匀试验设计、相似理论以及模型试验等;② 如何选取变量并求取其函数关系,这涉及回归分析与人工神经网络的应用等。

即使在数值建模仿真技术日益广泛应用于各种材料加工技术的今天,实验研究仍然是材料加工技术研究和发展的不可替代的一种重要研究手段,而材料先进适用加工技术的研究和发展对实验研究提出了更高的要求,迫切需要通过实验也能建立起尽可能量化和精确化的数学模型来对材料加工过程进行描述与分析,直至优化设计与精确控制。

虽然基于回归分析、试验设计和人工神经网络的实验建模方法已在材料加工过程中得到了广泛的应用,然而,到目前为止,还没有一部系统论述材料加工过程实验建模方法理论及应用的专著问世,相关的技术和理论及其应用只是散见于大量的期刊和会议论文中。为了促进材料加工过程实验建模方法与技术的发展和应用,我们总结了十余年来本研究团队在材料加工实验建模方法及其应用方面的研究成果,同时也吸纳了国内外这一领域学者反映在学术刊物、会议和网络中的研究成果,撰写了这部专著,希望对材料加工工程及其相关领域的研究和应用工作有所帮助。

本书内容结构的框架由杨合规划,第一章、第二章由杨合与詹梅合作撰写,第三章至第十章由詹梅撰写。本书大部分内容取材于杨合带领的研究团队及其所指导的研究生的研究成果,除了两位作者所做的研究工作外,还包括李恒、谷瑞杰、肖红生、唐汉玲、冯桐、王光祥、任宁、唐泽、张静静、陈岗等研究生的工作,涉及将回归分析、试验优化设计以及人工神经网络应用于材料加工实验建模中的一些成果,包括管材弯曲、薄壁件旋压、钛合金材料本构模型建立与应用等方面。

由于材料加工实验建模方法在不断发展和完善,加之作者水平有限,书稿中很多论述难免有些不够完善或论据不足,甚至是错误的,衷心欢迎读者批评指正。

本书反映的有关研究工作得到了国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金、航空科学基金、解放军总装备部、原国防科工委的资助与大力支持,西北工业大学为有关研究工作提供了良好的设施与条件。本书的出版得到了西北工业大学第十期出版基金的资助,西北工业大学出版社对书稿的编辑做了大量卓有成效的工作。在此,衷心感谢所有对本书的出版做出贡献和提供帮助的单位 and 人士!

杨 合、詹 梅

西北工业大学

2008 年 5 月 18 日

目 录

第一章 绪论	1
1.1 材料加工过程及其复杂性	1
1.1.1 材料及其加工过程	1
1.1.2 材料加工过程影响因素的复杂性	2
1.2 材料加工过程的研究方法	3
1.3 材料加工过程实验建模的必要性	4
1.4 内容概述	5
参考文献	6
第二章 材料加工过程实验建模方法概述	7
2.1 材料加工过程中三要素的流动	7
2.2 数学模型及其建立方法	9
2.2.1 数学模型的定义、功能及分类	10
2.2.2 材料加工过程理论建模方法	11
2.3 材料加工过程的实验建模方法	12
2.3.1 材料加工过程实验建模步骤	12
2.3.2 基于回归分析的实验建模方法	13
2.3.3 基于实验设计的直接建模方法	13
2.3.4 基于人工神经网络的实验建模方法	14
2.4 材料加工实验建模方法的发展趋势	15
2.4.1 材料加工实验建模方法的优缺点	15
2.4.2 材料加工实验建模方法的发展趋势	17
2.5 实验建模的逻辑思维方法	18
参考文献	19
第三章 基本回归分析及其应用	21
3.1 回归分析简介	21
3.2 一元线性回归分析	22

3.2.1 一元线性回归方程的数学模型	22
3.2.2 一元线性回归系数的确定方法	23
3.2.3 一元线性回归方程的显著性检验	24
3.2.4 一元线性回归方程的精度及应用	27
3.3 多元线性回归分析	28
3.3.1 多元线性回归方程的数学模型	28
3.3.2 多元线性回归系数的确定方法	29
3.3.3 多元线性回归方程的显著性检验	32
3.3.4 多元线性回归系数的显著性检验	34
3.3.5 多元线性回归方程的精度及应用	36
3.4 线性化回归	36
3.4.1 非线性关系与相应图形	37
3.4.2 不同数学模型结果的比较	39
3.4.3 线性化回归的计算步骤	39
3.5 多项式回归	40
3.5.1 一元多项式回归	40
3.5.2 多元多项式回归	41
3.6 基本回归分析在材料加工过程中的应用	41
3.6.1 数控弯管力能参数的预报与控制	41
3.6.2 数控弯管回弹角的预报与控制	46
3.6.3 熔炼参数对钢铁含碳量的影响	49
3.6.4 合金膨胀系数与成分的关系	52
3.6.5 不均匀压下板带面内弯曲外缘厚度的预测	54
参考文献	56
第四章 最优回归分析	57
4.1 选择“最优”回归方程的方法	57
4.2 逐步回归分析	57
4.2.1 逐步回归的数学模型	57
4.2.2 正规方程组及其常规解法	58
4.2.3 逐步回归分析的计算方法	59
4.3 逐步回归方法的应用	66
4.4 正交多项式回归	71
4.4.1 一元正交多项式回归的数学模型	71

4.4.2 一元正交多项式回归系数的确定方法	72
4.4.3 一元正交多项式回归方程的显著性检验	73
4.4.4 一元正交多项式回归系数的显著性检验	73
4.4.5 一元正交多项式回归的精度	73
4.4.6 正交多项式的确定	73
4.4.7 正交多项式回归分析的计算步骤	75
4.5 正交多项式回归的应用	75
4.5.1 合金膨胀系数与成分的一元正交多项式回归分析	75
4.5.2 磷青铜强度与退火制度的多元正交多项式回归分析	77
4.6 基于回归分析的实验建模方法的其他应用概述	81
参考文献	83
第五章 简单试验设计	86
5.1 试验设计的基本概念	86
5.2 单因素试验设计	87
5.2.1 完全随机化试验	88
5.2.2 随机的分块试验设计	89
5.2.3 拉丁方试验设计	90
5.3 多因素试验设计	94
5.3.1 全面试验法	94
5.3.2 单因素轮换法	94
5.3.3 采用单因素轮换法确定板带面内弯曲的成形极限	95
参考文献	97
第六章 正交试验设计	99
6.1 正交试验设计原理	99
6.1.1 基本原理	99
6.1.2 正交表的选用原则	100
6.1.3 正交试验设计所要解决的问题	101
6.1.4 正交试验设计的步骤	101
6.2 正交试验的直观分析	101
6.2.1 单指标正交试验设计的直观分析	101
6.2.2 多指标试验设计的直观分析	105
6.2.3 水平不同的正交试验设计的直观分析	117

6.2.4 有交互作用的正交试验设计的直观分析	124
6.3 正交试验设计的方差分析	132
6.3.1 正交表上的偏差平方和分解	132
6.3.2 正交试验方差分析的基本任务和方法	135
6.3.3 正交试验设计方差分析的应用	138
参考文献	146
第七章 回归正交试验设计	147
7.1 一次回归正交试验设计	148
7.1.1 因素水平编码	148
7.1.2 选择正交表	149
7.1.3 回归系数的计算	150
7.1.4 回归方程和回归系数的显著性检验	152
7.1.5 回代求原回归方程	153
7.2 二次回归正交试验	154
7.2.1 安排试验计划的组合设计法	154
7.2.2 二变量试验组合设计	154
7.2.3 三变量试验组合设计	155
7.2.4 二次回归正交试验的计算步骤与检验	160
7.3 回归正交试验设计的应用	162
7.3.1 硬质合金磨刀片切削力公式的建立	162
7.3.2 线管环焊接工艺与 CTOD 之间回归方程的建立	165
7.3.3 酚醛树脂增韧工艺优化	167
参考文献	170
第八章 均匀试验设计	171
8.1 概述	171
8.1.1 均匀性	171
8.1.2 均匀试验设计的优点	172
8.2 均匀设计表和使用表	172
8.2.1 均匀设计表与使用表	172
8.2.2 均匀设计表的特点	174
8.3 均匀试验设计	175
8.3.1 均匀试验方案设计	175

8.3.2 试验结果的计算与分析	175
8.3.3 均匀试验设计的步骤	176
8.4 均匀试验设计的应用	176
8.5 基于试验设计的直接建模方法的其他应用	179
参考文献	180
第九章 人工神经网络	182
9.1 人工神经网络模型的基本组成	182
9.1.1 基本组成	182
9.1.2 神经元模型	184
9.1.3 传递函数的类型	184
9.1.4 神经元的处理过程和特点	185
9.2 人工神经网络的工作方式、分类及特点	185
9.2.1 人工神经网络的工作方式	185
9.2.2 人工神经网络的结构	186
9.2.3 有代表性的人工神经网络	187
9.2.4 人工神经网络的特点	189
9.3 人工神经网络的学习方法	190
9.4 误差反向传播(BP)网络	193
9.4.1 BP 训练算法的导出	193
9.4.2 BP 训练算法的实现步骤	196
9.4.3 BP 网络应用中存在的问题	197
9.4.4 应用 BP 神经网络应注意的问题	198
9.5 人工神经网络在材料及其加工过程中的应用	198
9.5.1 概述	198
9.5.2 基于人工神经网络的实验建模方法在材料加工过程中的应用	199
9.5.3 BP 神经网络的应用举例	203
9.6 人工神经网络展望	205
9.6.1 人工神经网络的局限性	205
9.6.2 发展人工神经网络的良好机遇	207
9.6.3 前景	209
参考文献	209

第十章 实验建模方法在材料加工过程中的综合应用	213
10.1 钛合金热变形材料本构模型研究	213
10.1.1 建模方法的选择及建模思路	213
10.1.2 材料热变形过程本构模型的分类	214
10.1.3 材料热变形本构模型的研究现状	215
10.1.4 材料热变形本构模型的实验方案与实施	216
10.1.5 应力-应变曲线特征分析	221
10.1.6 基于 BP 神经网络的钛合金本构模型的建立	224
10.1.7 基于逐步回归法的 TA15 钛合金本构模型的建立	235
10.1.8 基于逐步回归法的 TC11 钛合金本构模型的建立	243
10.2 大口径薄壁管材塑性本构参数的确定	250
10.2.1 建模方法的提出及实现流程	250
10.2.2 双向应力状态的拉伸试样尺寸确定	252
10.2.3 基于人工神经网络的本构参数识别方法	255
10.2.4 管材本构关系对数控弯管成形质量的影响	260
10.3 不均匀压下面内弯曲半径预测模型研究	261
10.3.1 实验结果的评价指标	262
10.3.2 正交表的选用	262
10.3.3 各因素的水平选取	262
10.3.4 实验结果与分析	263
10.3.5 面内弯曲半径回归方程的确定及应用	264
参考文献	266
附录	268
附录 1 优化与梯度下降法简介	268
附录 2 相关系数检验表	273
附录 3 正态分布函数数值表	274
附录 4 t 检验的临界值表	275
附录 5 F 检验的临界值表	276
附录 6 常用正交试验表	288
附录 7 常用均匀设计表	303
附录 8 正交多项式表	308
附录 9 随机数表 1	318
附录 10 随机数表 2	320

第一章 绪 论

材料、能源和信息构成了人类现代文明的三大支柱^[1]。材料科学与技术已成为当代高科技发展的先导,又是其中的重要组成部分。材料加工过程是材料实现应用的前提,材料加工技术不但是先进制造技术的重要组成部分,而且是推动科技进步、国防现代化以及经济和社会发展的必要条件。

1.1 材料加工过程及其复杂性

1.1.1 材料及其加工过程

材料是可以直接制造成产品的物质,是人类赖以生存和发展的物质基础。材料和我们日常生活密切相关,它的使用与发展一直是标志人类进步的里程碑。材料是工业革命的先导,并与能源、信息构成了人类现代文明的三大支柱,它的发展与进步在一定程度上标志和影响国家和国防的综合实力^[1]。材料领域的科研和生产本身为社会创造着丰富的物质财富,并为人们提供了大量的就业机会,同时又与国民经济的几乎所有其他支柱产业及各种社会需求之间有着密切的关联^[2]。

新材料和先进材料的研究与开发始终是高科技开发乃至国民经济发展的基础。历史上的每一次工业变革,无不受到新材料和先进材料的影响。甚至如果哪个国家掌握了新材料和先进材料的开发和生产技术,则这个国家就能够真正站在世界高科技的前沿。当前,材料的高性能化、先进材料的制备与加工成形技术、材料环境的行为与失效、材料的计算设计及模拟仿真,已成为材料科学自身发展的重大科学问题,也是国家中长期材料科学领域发展战略重点中“择需、择重、择优”支持的重要研究方向^[3]。材料学与数学、物理、化学、力学、生物学、现代控制理论、信息科学及计算机科学等的交叉、融合和优势互补是新材料学和先进材料学发展的必由之路。

“新材料或先进材料”包含着两个层面的含义。一是对传统材料的再开发,使其在性能上获得重要突破,一般称之为先进材料;二是采用新工艺和新技术合成,开发出具有各种性能优异或新的和特殊功能材料^[4]。由此可以看出,新材料或先进材料与新工艺、先进技术有着密切的关系。一方面,新工艺与先进技术的使用

不断地扩展了人类的技术手段,从而使人们能够更加充分地开发传统材料中的各种新的性能或功能,更重要的是,通过新的合成工艺与先进技术,使人类获得种类更多、性能更佳的材料,如纳米材料、多相材料。另一方面,诸多具有特殊性能材料的涌现,推动了高新技术的快速发展。这一点,在现代社会表现得尤为突出。可以说,新材料或先进材料的开发已经成为高新技术的基础与先导。

在现代社会,新材料以及新材料中的高新技术正在为人类展开一个新世界的画卷。其中包括,使一种材料从单一功能向多种功能发展,而且可根据材料来设计产品,根据产品的需要,通过新的组成、结构和工艺设计来实现产品所需功能的概念,也就是说,它的功能要求正在向着适应人类在各个领域的需要而发展。由此,可以说,材料已经成为人类从“自然王国”走向“自由王国”的动力和保证源泉^[4]。

通过改变和控制材料的外部形状和内部组织结构,从而达到“控形”和“控性”的目的。使材料成为人类社会所需要的各种零部件产品的过程是材料成形,也称为材料成形加工或制造,或简称为材料加工^[5]。这类过程包括铸造、塑性成形、焊接、粉末冶金、喷射成形、表面加工、热处理改性等,又因为这类过程一般都需要将材料加热到一定的温度下才能进行,因此通常又称这类加工方法为热加工。

还有一类加工方法,如传统的车、铣、刨、磨、钻等切削加工,以及直接利用电能、化学能、声能、光能等进行的特殊加工,如电火花加工、电解加工、超声波加工、激光加工等,在加工制造过程中通过去除一部分材料,赋予未去除材料一定的形状、尺寸和表面状态,尤其是尺寸精度和表面粗糙度,而一般不改变材料的内部组织和性能^[5]。这一类加工方法统称为切削加工或去除加工。由于这类加工一般在常温下甚至往往是在强制冷却到常温下进行,所以习惯上称这类加工方法为冷加工。

材料加工过程和方法不仅种类繁多,特点各异,而且在不断发展。不同的材料需要不同的加工过程和方法,同样的材料制造不同的工件也要采用不同的加工过程和方法。

材料加工是材料实现应用的前提。材料加工是对材料的深度加工,具有显著的技术经济效益和高增值的特点。工业发达国家都把材料加工技术的研究与开发作为国民经济的重要组成部分,予以高度重视。材料加工技术作为先进制造技术的重要组成部分,是推动科技进步、国防现代化以及经济社会发展的必要条件^[6]。

1.1.2 材料加工过程影响因素的复杂性

随着科学技术与国民经济的发展和国防安全的需要,材料加工的产品种类与数量不断增多。对在材料、形状、尺寸、精度、粗糙度、强度、寿命、重量等方面的要

求,不仅日益多样而且日益严格。然而,材料加工是一个非常复杂的物理过程,影响该过程的因素多而复杂,而且因素间还可能存在耦合作用。

以塑性成形为例,材料加工过程的主要影响因素包括:①材料性能;②模具质量与状况;③摩擦与润滑;④变形状况;⑤机床性能与状况;⑥产品设计;⑦生产环境,如图 1.1 所示。

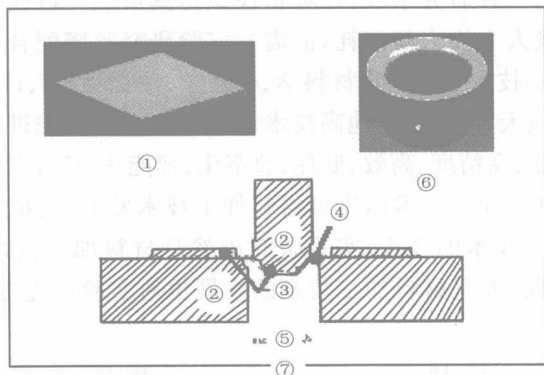


图 1.1 材料加工过程的主要影响因素

其中,材料性质可以构成一个专门的研究领域,并非几个指标所能概括。而产品形状多种多样,通常都比较复杂。摩擦与润滑,在高接触压力和塑性变形下,其机理尚未认识清楚。工件在成形中的受力、变形与破坏状况则更是复杂多变。要掌握材料加工过程的成形规律,就需对材料的行为进行大变形塑性力学的描述,对工件不断变化的形状进行适当的几何描述,并且这两方面还要相互耦合。这之中各因素间的影响更有待进一步研究。

由于材料加工是一个多场、多工步、多因素耦合作用下的复杂的物理过程,因此迄今未能很好建立对这一过程进行系统深入研究的直接观察方法^[6]。

1.2 材料加工过程的研究方法

材料加工过程和技术研究是一个既有挑战性又充满机遇的领域,每一项进展都具有提高并深化认识的意义,具有强化生产能力和提高经济效益的实用价值。

材料加工工程学科又是一门技术学科。其研究任务是发现现象、揭示规律、阐明机理,并使材料加工过程定量化(模型化)和精确化(最优化)。其研究目的是从理论上得出更有效地处理材料加工工艺问题的途径,减少依靠经验处理工艺问题的盲目性,增加科学预见性,改善材料加工过程,达到更合理地利用材料、节约材料

和能源、减轻劳动强度,从而提高生产效率和产品质量,实现高质量、短周期、低成本、节约型的先进材料加工技术^[7,8]。

材料加工过程的研究方法主要有三大类,即理论分析、实验研究和计算机模拟仿真^[6]。理论分析由于需要较多的假设和简化,难以研究复杂多因素的影响;而实验研究虽然需要花费较多的人力、物力和时间,但它是材料加工技术研究和发展的基础,是必不可少的一种研究手段;计算机模拟仿真虽然可以模拟复杂的材料加工过程,有效避免大量人力物力的消耗,但需与实验研究紧密配合。

材料加工过程和技术是一门集材料学、机械学、热学、力学、计算机科学于一体的综合性学科。航空航天、汽车和其他高技术的发展要求材料先进加工技术朝着精确成形、轻量化、高性能、高精度、高效、低耗、数字化、智能化、环境友好的方向发展^[6]。

综上所述,在材料加工技术向先进材料加工技术发展、模拟仿真技术日益广泛应用于各种材料加工技术的今天,实验研究仍然是材料加工技术研究和发展的必不可少的一种研究手段,而且材料加工技术的发展也对实验研究提出了更高的要求。

1.3 材料加工过程实验建模的必要性

材料加工工程学科是一门建立在基础理论和大量实验基础上的技术学科,所以,材料科学及其以此为基础的材料加工工程科学远不像数学、物理学那样有系统的理论和精确的数学方法。在过去,新材料、新物质、新加工工艺和技术的探索、研制与开发常常是采用经验性的反复实验法,或称为“炒菜法”或“试错法”^[9]。即,在材料组织性能或零部件的形状和性能要求提出后,凭经验确定材料制备的配方或零部件加工的工艺过程,然后试制出一批样品或样件,分析其组分、结构,测试其性能及成形质量和形状尺寸精度,如果没有达到要求,就另行改变配方和工艺再进行试验。一般这个过程要反复多次才有可能达到要求。这种方法费时费力,事倍功半。鉴于材料加工工程学科是一门建立在基础理论和大量实验基础上的技术学科的性质,因此,在很多情况下,事物之间的关系难以完全明确其物理机制,即使在完全明确其物理机制后也难以用数学解析方法直接描述。

此外,材料及其制备、加工工艺的研制与开发过程中还面临着一些问题^[9],譬如如何有效利用各种已有的文献资料数据、专利数据,从中提取有用信息,制订科研开发计划;如何在实验室试制阶段,及时总结、调整实验方向;如何在工业生产中,总结、归纳生产和实验记录,提出工业优化方案,在提高或保证材料性能及零部件成形质量的同时,降低新材料及新加工工艺的成本。新材料研制的“炒菜法”及零部件加工过程中的“试错法”和上述的这些难题,造成了新材料研制及以此为基础的材料加工工艺的开发成本高、周期长、盲目性大等缺点。

为了摆脱这种盲目的研究和开发方式,就需要对材料制备及其加工过程进行实验设计,即按照目标要求进行理论计算,确定为达到该要求所应采用的配方和工艺过程。这就是要通过一定量的实验,构造一类逼近这些实验数据的模型,并通过实验进行验证。然而,材料加工过程往往是多场耦合、多工步、多参数耦合的高度非线性的复杂过程,例如金属塑性成形时要经历复杂的组织演化过程和不均匀变形,并且易出现充填不满、裂纹、流线折叠、涡流、穿筋等各种各样的缺陷。由于零部件的成形质量与材料的组分、加工工艺间的关系过于复杂,以及以新材料为对象的新材料加工过程的机理还处于摸索阶段,因此,对材料加工体系建立完备、精确化的数学模型,从原子、分子层次对材料进行自底向上的精确的设计还仅处于概念性阶段,目前尚难以满足研究与发展先进材料加工技术使其向高质量、低成本、短周期、自主创新地实现材料加工产品开发的需求^[9]。

然而,从宏观角度来看,零部件的成形质量(包括性能、组织、形状尺寸精度)由材料的组分、制备工艺以及复杂的材料加工工艺参数决定。因此,如果能够确定材料性能和原料种类、原料用量、制备及加工过程等影响因素之间的数学关系,就有可能在不需要了解材料内在物理机制和详细机理的情况下,开发出符合要求的新材料、新工艺过程。因此,确定材料性能与制备的影响因素,确定零部件成形质量和建立影响其加工性能的各因素之间的定量或半定量关系,就成了对新材料和先进加工技术进行实用化设计的关键^[9,10]。因此,非常有必要通过实验建立尽可能定量化和精确化的数学模型来对材料加工过程进行描述和分析。

1.4 内容概述

本书的第一章主要对材料及其加工过程、影响材料加工过程的主要因素及其复杂性、材料加工过程的研究方法等进行了简要介绍,引出了在材料加工过程中通过实验研究建立数学模型的必要性。

第二章首先介绍了材料加工过程的三要素流动、数学模型与建模的方法以及材料加工过程理论建模方法,然后给出了材料加工过程实验建模方法和步骤,包括基于回归分析的建模方法、基于试验设计的直接建模方法和基于人工神经网络的建模方法的基本流程,给出了实验建模方法的不足及其发展趋势。

第三章和第四章是基于回归分析的实验建模方法在材料加工过程中的应用。其中,第三章主要着重介绍了线性回归、非线性回归(包括线性化回归和多项式回归)等基本回归分析方法的基本原理及其应用情况。第四章则主要介绍最优回归分析所涉及的选择“最优”回归方程的方法、逐步回归分析、正交多项式回归的基本原理及其应用情况。最后总结了基于回归分析的实验建模方法在材料加工过程中

的其他应用情况。

第五、六、七、八章是关于试验设计及其在材料加工过程中的应用情况。其中,第五章是关于单因素和多因素的简单试验设计的基本方法及应用的介绍。第六章全面介绍了正交试验设计的原理、步骤、直观分析与方差分析及各种情况下的正交试验设计的应用,并对其进行了详细的归纳与阐述。第七章是关于回归正交设计的基本原理与方法及其应用的介绍,重点在一次回归正交试验设计方面。第八章是关于均匀试验设计的基本原理与方法及其应用的详细阐述。最后总结了基于试验设计的直接建模方法在材料加工过程中的其他应用情况。

第九章是对基于人工神经网络的实验建模方法的全面介绍。主要对人工神经网络的组成、特点、神经元特点与信息处理过程、人工神经网络的工作方式、结构进行了阐述,重点对在材料加工过程中应用较广泛的误差反向传播(BP)网络的实现步骤、存在的问题及其在材料及其加工过程中的应用进行了详细阐述。最后总结了基于人工神经网络的实验建模方法在材料加工过程中的其他应用情况。

第十章通过对钛合金热变形材料高温本构模型的研究、大口径薄壁管材塑性本构参数的确定和不均匀压下面内弯曲半径预测模型研究等三个材料加工过程典型实例的阐述,详细介绍了上述基于回归分析、试验优化设计和人工神经网络的实验建模方法在材料加工过程中的综合应用情况。

参考文献

- [1] 何宇声. 复合材料在材料科学技术中的作用和地位:迎接二十一世纪挑战. 玻璃钢/ 复合材料, 2001,1:37-41.
- [2] 马春. 2004 年世界新材料研究进展综述. 新材料产业, 2005,2:56-60.
- [3] 国家科技计划 2006 年年度报告. [2007-08-10]. http://www.most.gov.cn/ndbg/ndbg2005/ndbg2005_04.pdf.
- [4] 李真真. 新材料、新能源技术与人类文明. [2007-08-10]. http://www.cas.ac.cn/html/Books/O61BG/a1/2002/5/5.1_1.htm.
- [5] 谢建新,等. 材料加工新技术与新工艺. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [6] Yang He, Zhan Mei, Liu Yuli, et al. Some advanced plastic processing technologies and their numerical simulation. Journal of Materials Processing Technology, 2004,151:63-69.
- [7] 杨合,孙志超,林艳,等. 管成形技术发展基础问题研究. 塑性工程学报, 2001,8(2):83-85.
- [8] 宋玉泉. 连续局部塑性成形的发展前景. 中国机械工程. 2000,1-2:65-67.
- [9] 张纯禹. 现代优化计算方法在材料最优化设计中的应用. 材料科学与工程学报, 2003, 21(1):44-47.
- [10] 李顺平, 杨合. 神经网络在塑性加工中的应用. 航空制造工程, 1998,3:27-28.