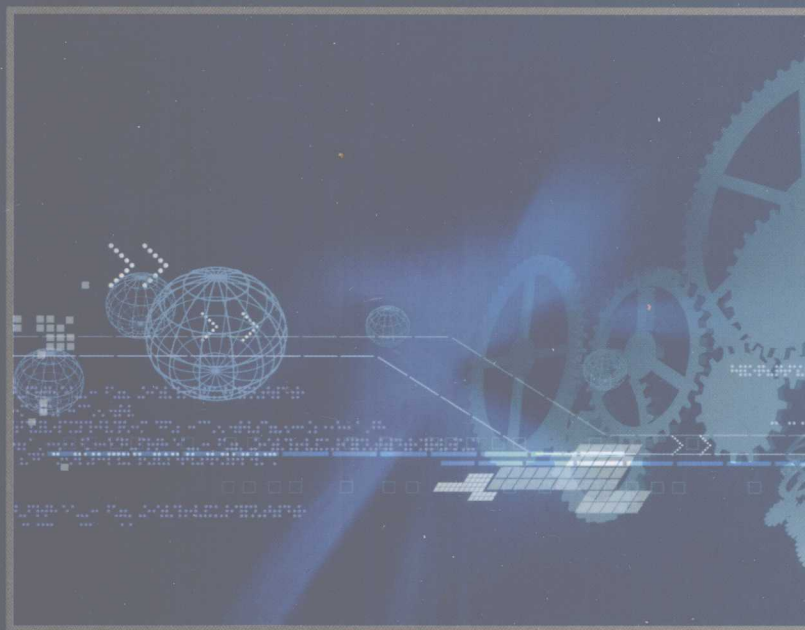


面向快速制造的 特种加工技术

Non-Traditional Machining Technology
Oriented Rapid Manufacturing

郭东明 赵福令 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

面向快速制造的 特种加工技术

**Non-Traditional Machining Technology
Oriented Rapid Manufacturing**

郭东明 赵福令 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

面向快速制造的特种加工技术 / 郭东明, 赵福令著.
北京: 国防工业出版社, 2009. 2
ISBN 978 - 7 - 118 - 06115 - 4

I. 面... II. ①郭... ②赵... III. 特种加工 - 技术
IV. TG166

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202774 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11 字数 280 千字

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 彭华良 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 吴有生 吴宏鑫

何新贵 张信威 陈良惠 陈冀胜

周一宇 赵万生 赵凤起 崔尔杰

韩祖南 傅惠民 魏炳波

本书主审委员 刘世参

前 言

机械制造业是国民经济的重要基础和支柱产业,为国民经济各部门和国防提供技术装备,其发展规模和水平对国家现代化建设有重要的影响,是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志。而机械制造工业的发展和进步又在很大程度上取决于机械加工技术的水平。在科学技术高度发展的今天,产品向高精度、高速度、大功率、小型化等方向发展,它们所使用的材料也越来越难加工,零件形状越来越复杂,表面形貌、粗糙度和某些特殊要求也越来越高,因此对机械加工技术提出越来越高的要求。随着全球经济一体化的进程和全球化市场的形成,任何制造企业的生产和经营活动都必须面对全世界的激烈竞争与挑战。能否以最短的交货期、最好的质量、最低的成本、最佳的服务来响应多变和多样化的市场需求,将成为制造业赖以生存的关键。至今,机械制造发展已由一门技艺成长为一门工程科学,它所追求的已不是单纯高精度,而是精度、成本和效率的最佳组合。面向快速制造的特种加工技术正是在这种背景下出现的。

特种加工是指利用物理的或化学的能量去除或添加材料,以达到零件设计要求的各种加工方法的总称。其中大部分加工方法的加工机理是以溶解、熔化、气化、剥离为主,且多数为非接触加工,因此对于高硬度、高韧性材料和复杂型面、低刚度零件是无可替代的加工方法,也是对传统机械加工方法的有力补充和延伸,并成为机械制造领域不可缺少的技术内容。在已有的特种加工工艺不断完善和定型的同时,新的特种加工技术也不断涌现出来,如在线电解修整砂轮镜面磨削技术、时变场控制电化学机械加工技术、三维型腔简单工具数控超声波仿铣技术、混粉电火花大面积镜

面加工技术、快速成型技术等。

书中内容是作者及其所负责的科研团队多年来承担国家自然科学基金重点和面上项目、辽宁省和大连市科技计划项目所取得的科研成果和工作实践总结,主要包括可控电解珩磨复合加工技术、混粉电火花加工机理及应用研究技术、超声波铣削加工原理及相关技术、熔融沉积制造及快速模具制造技术等四章。

本书由郭东明教授、赵福令教授执笔,王元刚博士参加了书稿的撰写工作。同时,大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室,特别是作者指导的博士和硕士研究生也参与并完成了许多具体的研究工作。

在本书即将出版之际,特别感谢国家自然科学基金委员会和国防科技图书出版基金的资助!

由于作者水平所限,书中难免存在各种疏漏和不当之处,恳请读者不吝赐教。

著者

2008年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 特种加工技术的研究现状和发展趋势	1
1.1.1 人工智能技术为特种加工工艺规律建模 奠定了基础	1
1.1.2 智能控制将成为特种加工领域主要的 控制策略	2
1.1.3 新兴的特种加工技术将对制造业的生产 模式产生深刻的影响	3
1.2 面向快速制造的特种加工技术基础	6
1.2.1 面向快速制造的特种加工技术体系	6
1.2.2 基于分层制造思想,利用简单工具的电加工 工艺理论及技术	7
1.2.3 基于电场控制、溶解与切削相结合的复合 加工方法与技术	7
1.2.4 三维型腔的精密成形及镜面电火花加工 一体化技术	8
1.2.5 基于 RP 技术的特种加工方法与技术及 面向 RP 技术的特种加工工艺组合技术	8
1.2.6 基于特种加工工艺的快速制造技术体系	9
第 2 章 可控电解珩磨复合加工技术	10
2.1 可控电解珩磨技术的基本理论	10

2.1.1	可控电解珩磨技术原理·····	10
2.1.2	可控电解珩磨加工中的钝化与活化·····	12
2.1.3	可控电解珩磨的电化学反应特性·····	14
2.1.4	准稳态及动态加工的金属去除规律·····	18
2.1.5	电场分布及与金属去除量分布的关系·····	20
2.2	可控电解珩磨的控制及实施方法·····	22
2.2.1	可控电解珩磨的实施条件·····	23
2.2.2	可控直流电解电源·····	23
2.2.3	可控电解珩磨的施电控制方法·····	25
2.2.4	可控电解珩磨的实施方法·····	29
2.2.5	阴极形式及组合阴极加工的控制实施 方法·····	35
2.2.6	珩磨活化形式·····	39
2.3	可控电解珩磨电解液的加工特性·····	40
2.3.1	电解液的基本要求·····	40
2.3.2	电解液的选择·····	41
2.3.3	可控电解珩磨加工研究中的规定与假设·····	42
2.3.4	电解液的准稳态加工特性·····	43
2.3.5	电解液的动态特性·····	52
2.3.6	电解液的对比度及光整加工特性·····	53
2.4	准稳态加工去除规律的基本模型·····	54
2.4.1	周向去除规律的基本模型·····	54
2.4.2	对应施电规律的周向去除量分布计算·····	57
2.4.3	向径沿轴向变化类工件加工的去 除规律基本模型·····	58
2.4.4	向径沿轴向变化类工件加工的去 除量分布计算·····	63
2.4.5	向径沿轴向和周向均变化的异形 曲面加工	

去除规律基本模型及去除量计算·····	65
2.5 准稳态加工去除规律数学模型的参数确定·····	67
2.5.1 工艺方案及条件·····	67
2.5.2 电解液模型参数的实验及拟合·····	68
2.5.3 1号电解液模型参数的实验及拟合·····	76
2.5.4 3号、4号和5号电解液模型参数的实验 及拟合·····	83
2.6 动态去除规律模型及去除量分布·····	88
2.6.1 $U-I$ 动态响应规律及动态去除量分布·····	89
2.6.2 考虑“通延断止”现象影响的去除量 分布计算与分析·····	100
2.6.3 1号电解液动态加工特性分析·····	103
2.6.4 3号电解液动态加工特性分析·····	105
2.7 已知工件误差及加工余量的施电规律求解方法·····	107
2.7.1 逐次逼近法·····	108
2.7.2 施电电流分布的逐次逼近法求解·····	112
2.8 本章小结·····	117
第3章 混粉电火花加工机理及应用·····	118
3.1 混粉电火花加工机理·····	118
3.1.1 粉末颗粒作用机理·····	118
3.1.2 介质击穿过程及放电通道的位形分析·····	125
3.2 混粉电火花加工工艺特性·····	134
3.2.1 加工极性的影响·····	135
3.2.2 峰值电流的影响·····	142
3.2.3 脉冲宽度的影响·····	144
3.2.4 工具电极材料的影响·····	146
3.2.5 工件材料的影响·····	149

3.2.6	加工面积的影响	151
3.2.7	冲油方式的影响	152
3.2.8	电极转速的影响	154
3.3	粉末特性对加工性能的影响	155
3.3.1	粉末性能及主要工艺参数	155
3.3.2	粉末材料对加工特性的影响	157
3.3.3	粉末浓度对加工特性的影响	162
3.4	混粉电火花加工表面特性	165
3.4.1	混粉电火花加工表面微观形貌分析	166
3.4.2	混粉电火花加工表面显微裂纹	172
3.4.3	混粉电火花加工表面显微硬度	179
3.5	本章小结	185
第4章	超声波铣削加工原理及相关技术	186
4.1	超声波铣削加工原理及材料去除率理论	186
4.1.1	超声波分层铣削加工原理	186
4.1.2	超声波加工中材料去除机理	190
4.1.3	超声波加工中材料去除率及其模型	195
4.1.4	超声波铣削加工中材料去除模型	202
4.1.5	超声波铣削加工中材料去除率模型	207
4.2	超声波铣削加工技术的实现	213
4.2.1	超声波铣削加工机床的组成	213
4.2.2	超声波数控加工中工具振幅的简易测量	218
4.2.3	数控超声波钻孔加工	221
4.2.4	超声波铣削加工中的工具损耗和补偿 方式	228
4.2.5	超声波铣削工艺	240
4.3	本章小结	246

第 5 章 熔融沉积制造精度及快速模具制造技术	247
5.1 快速模具制造技术原理	247
5.1.1 快速成型技术原理及特点	247
5.1.2 模具零件快速制造方法体系	249
5.2 熔融沉积制造精度分析与材料收缩分析	250
5.2.1 ABS 树脂基本特性	250
5.2.2 熔融沉积制造精度分析	251
5.2.3 材料收缩对零件尺寸精度的影响	258
5.3 FDM 工艺丝宽模型与补偿研究	264
5.3.1 FDM 工艺的工作原理	264
5.3.2 FDM 工艺出丝过程及其影响因素分析	264
5.3.3 FDM 工艺的丝宽模型	272
5.3.4 FDM 工艺原型尺寸的正确补偿	279
5.4 熔融沉积制造工艺参数的优化	281
5.4.1 FDM 主要工艺参数的确定	281
5.4.2 标准测试件设计	282
5.4.3 主要因素对原型尺寸、几何精度以及 表面粗糙度的影响	284
5.5 基于 FDM 原型的电加工电极快速制造	289
5.5.1 FDM 原型用于电加工电极快速制造的 工艺路线	289
5.5.2 FDM 原型电铸前的导电化处理	291
5.5.3 电铸最佳工艺参数的确定	297
5.5.4 FDM 原型的电铸	301
5.5.5 电弧喷涂材料的确定	301
5.5.6 粗化及电弧喷涂紫铜	305
5.5.7 电铸电极的微观形貌和物相分析	306

5.5.8 电铸电极的电加工性能分析	309
5.6 分层实体制造用于快速模具制造的分析	312
5.6.1 分层实体制造技术原理	312
5.6.2 分层实体制造成型精度分析	313
5.6.3 基于 LOM 原型的金属模具快速制造	317
5.7 本章小结	321
参考文献	322

Contents

Chapter 1 Exordium	1
1.1 Present research status and development trends of nontraditional machining technology	1
1.1.1 Artificial intelligence technique lays scientific foundation for modeling of the technology	1
1.1.2 Intelligence control will become main control strategy in those fields	2
1.1.3 Newly nontraditional machining influence the production mode of manufacturing industry	3
1.2 Foundations of nontraditional machining technology oriented to rapid manufacturing	6
1.2.1 Systems of non traditional machining technology oriented to rapid manufacturing	6
1.2.2 Theoretical system of EDM milling by simple tool based on the layering manufacturing	7
1.2.3 Machining Technology of Combination of field control, dissolution and cutting	7
1.2.4 Integrative Technology of precision forming of 3D Micro Structure Cavity and Mirror EDM	8
1.2.5 Nontraditional machining methods based on RP and combination technology facing RP	8
1.2.6 RP Technology System based on Non	

Traditional Machining process	9
Chapter 2 Research on the field controlled electro-chemical honing	10
2.1 Basic theory of the field controlled electro-chemical honing	10
2.1.1 Principle of the field controlled electro-chemical honing	10
2.1.2 Passivation and activation of FCECH	12
2.1.3 Electrochemical reaction characteristic of FCECH	14
2.1.4 Removal low of metal in metastable state& dynamics	18
2.1.5 Distribution Relations between electric field and metal removal	20
2.2 Control and application method of FCECH	22
2.2.1 Application conditions of FCECH	23
2.2.2 Power sources of FCECH	23
2.2.3 Power control method of FCECH	25
2.2.4 Actualization of FCECH	29
2.2.5 Control actualization of cathode and assembled cathode	35
2.2.6 Modality of honing activation	39
2.3 Process characteristics of FCECH electrolyte	40
2.3.1 Requirement of electrolyte	40
2.3.2 Choice of electrolyte	41
2.3.3 Regulation and hypothesis in FCECH	42
2.3.4 Machining characteristic of metastable state of electrolyte	43
2.3.5 Dynamic behavior of electrolyte	52
2.3.6 Contrast and Surface Finishing characteristic	

	of electrolyte	53
2.4	Model of removal in Quasi-Steady-State	54
2.4.1	Model of circumferential removal rule	54
2.4.2	Circumferential removal distribution calculation	57
2.4.3	Removal model of workpiece with varied diameter along axially	58
2.4.4	Removal distribution calculation of workpiece with varied diameter along axially	63
2.4.5	Removal model and calculation of abnormality workpiece with varied diameter along axially and contour	65
2.5	Parameters confirm of math model in quasi- steady-state	67
2.5.1	Condition and scheme of experiment	67
2.5.2	Electrolyte model experiments and fitting	68
2.5.3	Experimental fitting of 1 [#] electrolyte parameter model	76
2.5.4	Experimental fitting of 3 [#] , 4 [#] , 5 [#] electrolyte parameter model	83
2.6	Dynamic removal model and removal distribution	88
2.6.1	$U - I$ dynamic response law and dynamic removal	89
2.6.2	Removal distribution analysis and computation under the influence of starting with delay and immediate stop	100
2.6.3	Experimental analysis of dynamic removal in 1 [#] electrolyte	103
2.6.4	Experimental analysis of dynamic removal in 3 [#] electrolyte	105