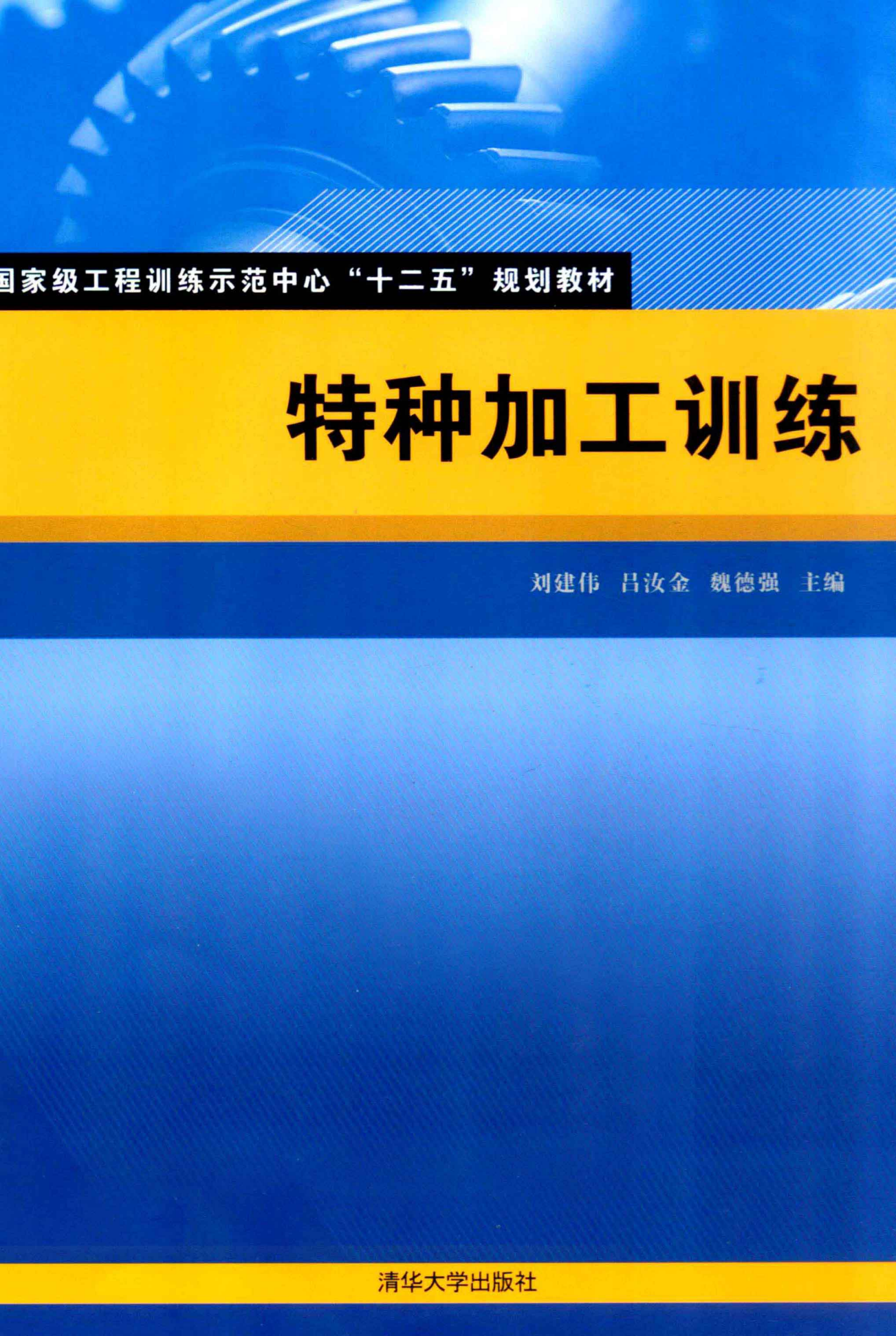




国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

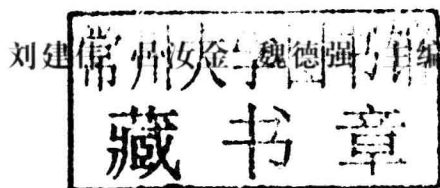
特种加工训练

刘建伟 吕汝金 魏德强 主编

清华大学出版社

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

特种加工训练



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书讲述现代制造技术中的特种加工技术,内容主要包括电火花加工技术、电火花线切割加工技术、快速成形制造技术、超声波加工技术、激光加工技术、电子束和离子束加工技术以及电化学加工技术等。主要介绍各种加工方法的基本原理、特点、分类、典型设备、主要用途、加工工艺、加工方法与流程以及典型零件加工举例等。

本书主要作为高等院校工程训练教学用书,也可供高职高专学生和特种加工技术人员的培训使用。

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

特种加工训练/刘建伟,吕汝金,魏德强主编.--北京:清华大学出版社,2013

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

ISBN 978-7-302-32954-1

I. ①特… II. ①刘… ②吕… ③魏… III. ①特种加工—高等学校—教材 IV. ①TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 148122 号

责任编辑:庄红权

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:宋 林

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:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:8

字 数:190 千字

版 次:2013 年 7 月第 1 版

印 次:2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:22.00 元

产品编号:049151-01

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

编审委员会

顾问

傅水根

主任

梁延德 孙康宁

委员(以姓氏首字母为序)

陈君若 贾建援 李双寿 刘胜青 刘舜尧

邢忠文 严绍华 杨玉虎 张远明 朱华炳

秘书

庄红权

序 言



PREFACE

自国家的“十五”规划开始,我国高等学校的教材建设就出现了生机勃勃的局面,工程训练领域也是如此。面对高等学校高素质、复合型和创新型的人才培养目标,工程训练领域的教材建设需要在体系、内涵以及教学方法上深化改革。

以上情况的出现,是在国家相应政策的主导下,源于两个方面的努力:一是教师在教学过程中,深深感到教材建设对人才培养的重要性和必要性,以及教材深化改革的客观可能性;二是出版界对工程训练类教材建设的积极配合。在国家“十五”期间,工程训练领域有 5 部教材列入国家级教材建设规划;在国家“十一五”期间,约有 60 部教材列入国家级“十一五”教材建设规划。此外,还有更多的尚未列入国家规划的教材已正式出版。对于国家“十二五”规划,我国工程训练领域的同仁,对教材建设有着更多的追求与期盼。

随着世界银行贷款高等教育发展项目的实施,自 1997 年开始,在我国重点高校建设 11 个工程训练中心的项目得到了很好的落实,从而使我国的工程实践教学有机会大步跳出金工实习的原有圈子。训练中心的实践教学资源逐渐由原来热加工的铸造、锻压、焊接和冷加工的车、铣、刨、磨、钳等常规机械制造资源,逐步向具有丰富优质实践教学资源的现代工业培训的方向发展。全国同仁紧紧抓住这百年难遇的机遇,经过 10 多年的不懈努力,终于使我国工程实践教学基地的建设取得了突破性进展。在 2006—2009 年,国家在工程训练领域共评选出 33 个国家级工程训练示范中心或建设单位,以及一大批省市级工程训练示范中心,这不仅标志着我国工程训练中心的发展水平,也反映出教育部对我国工程实践教学的创造性成果给予了充分肯定。

经过多年的改革与发展,以国家级工程训练示范中心为代表的我国工程实践教学取得了以下 10 个方面的重要进展。

(1) 课程教学目标和工程实践教学理念发生重大转变。在课程教学目标方面,将金工实习阶段的课程教学目标“学习工艺知识,提高动手能力,转变思想作风”转变为“学习工艺知识,增强工程实践能力,提高综合素质,培养创新精神和创新能力”;凝练出“以学生为主体,以教师为主导,实验技术人员和实习指导人员为主力,理工与人文社会学科相贯通,知识、素质和能力协调发展,着重培养学生的工程实践能力、综合素质和创新意识”的工程实践教学理念。

(2) 将机械和电子领域常规的工艺实习转变为在大工程背景下,包括机械、电子、计算机、控制、环境和管理等综合性训练的现代工程实践教学。

(3) 将以单机为主体的常规技术训练转变为部分实现局域网络条件下,拥有先进铸造技术、先进焊接技术和先进钣金成形技术,以及数控加工技术、特种加工技术、快速原型技术和柔性制造技术等先进制造技术为一体的集成技术训练。

(4) 将以学习技术技能和转变思想作风为主体的训练模式转变为集知识、素质、能力和

创新实践为一体的综合训练模式,并进而实现模块式的选课方案,创新实践教学在工程实践教学教学中逐步形成独有的体系和规模,并发展出得到广泛认可的全国工程训练综合能力竞赛。

(5) 将基本面向理工类学生转变为除理工外,同时面向经济管理、工业工程、工艺美术、医学、建筑、新闻、外语、商学等尽可能多学科的学生。使工程实践教学成为理工与人文社会学科交叉与融合的重要结合点,使众多的人文社会学科的学生增强了工程技术素养,不仅成为我国高校工程实践教学改革的重要方向,并开始纳入我国高校通识教育和素质教育的范畴,使愈来愈多的学生受益。

(6) 将面向低年级学生的工程训练转变为本科4年不断线的工程训练和研究训练,开始发展针对本科毕业设计,乃至硕士研究生、博士研究生的高层人才培养,为将基础性的工程训练向高层发展奠定了基础。

(7) 由单纯重视完成实践教学任务转变为同时重视教育教学研究和科研开发,用教学研究来提升软实力和促进实践教学改革,用科研成果的转化辅助实现实验技术与实验方法的升级。

(8) 实践教学对象由针对本校逐渐发展到立足本校、服务地区、面向全国,实现优质教学资源共享,并取得良好的教学效益和社会效益。

(9) 建立了基于校园网络的中心网站,不仅方便学生选课,有利于信息交流与动态刷新,而且实现了校际间的资源共享。

(10) 卓有成效地建立了国际、国内两个层面的学术交流平台。在国际,自1985年在华南理工大学创办首届国际现代工业培训学术会议开始,规范地实现了每3年举办一届。在国内,自1996年开始,由教育部工程材料及机械制造基础课指组牵头的学术扩大会议(邀请各大区金工研究会理事长参加)每年举办一次,全国性的学术会议每5年一次;自2007年开始,国家级实验教学示范中心联席会工程训练学科组牵头的学术会议每年两次;各省市级金工研究会牵头举办的学术会议每年一次,跨省市的金工研究会学术会议每两年一次。

丰富而优质的实践教学资源,给工程训练领域的系列课程建设带来极大的活力,而系列课程建设的成功同样积极推动着教材建设的前进步伐。

面对目前工程训练领域已有的系列教材,本规划教材究竟希望达到怎样的目标?又可能具备哪些合理的内涵呢?个人认为,应尽可能将工程实践教学领域所取得的重大进展,全面反映和落实在具有下列内涵的教材建设上,以适应大面积的不同学科、不同专业的人才培养要求。

(1) 在通识教育与素质教育方面。面对少学时的工程类和人文社会学科类的学生,需要比较简明、通俗的“工程认知”或“实践认知”方面的教材,使学生在比较短时间的实践过程中,有可能完成课程教学基本要求。应该看到,学生对这类教材的要求是比较迫切的。

(2) 在创新实践教学方面。目前,我们在工程实践教学领域,已建成“面上创新、重点创新和综合创新”的分层次创新实践教学体系。虽然不同类型学校所开创的创新实践教学体系的基本思路大体相同,但其核心内涵必然会有较大的差异,这就需要通过内涵和风格各异的教材充分展现出来。

(3) 在先进技术训练方面。正如我们所看到的那样,机械制造技术中的数控加工技术、特种加工技术、快速原型技术、柔性制造技术和新型的材料成形技术,以及电子设计和工艺中的电子设计自动化技术(EDA)、表面贴装技术和自动焊接技术等已经深入到工程训练的



许多教学环节。这些处于发展中的新型机电制造技术,如何用教材的方式全面展现出来,仍然需要我们付出艰苦的努力。

(4) 在以项目为驱动的训练方面。在世界范围的工程教育领域,以项目为驱动的教学组织方法已经显示出强大的生命力,并逐渐深入工程训练领域。但是,项目训练法是一种综合性很强的教学组织法,不仅对教师的要求高,而且对经费的要求多。如何克服项目训练中的诸多困难,将处于探索中的项目驱动教学法继续深入发展,并推广开去,使更多的学生受益,同样需要教材作为一种重要的媒介。

(5) 在全国大学生工程训练综合能力竞赛方面。2009年和2011年在大连理工大学举办的两届全国大学生工程训练综合能力竞赛,开创了工程训练领域无全国性赛事的新局面。赛事所取得的一系列成功,不仅昭示了综合性工程训练在我国工程教育领域的重要性,同时也昭示了综合性工程训练所具有的创造性。从赛事的命题,直到组织校级、省市级竞赛,最后到组织全国大赛,不仅吸引了数量众多的学生,而且提升了参与赛事的众多教师的指导水平,真正实现了我们所长期企盼的教学相长。这项重要赛事,不仅使我们看到了学生的创造潜力,教师的创造潜力,而且看到了工程训练的巨大潜力。以这两届赛事为牵引,可以总结归纳出一系列有价值的东西,来推进我国的高等工程教育深化改革,来推进复合型 and 创造型人才的培养。

总之,只要我们主动实践、积极探索、深入研究,就会发现,可以纳入本规划教材编写视野的内容,很可能远远超出本序言所囊括的上述5个方面。教育部工程材料及机械制造基础课程教学督导组经过近10年的努力,所制定的课程教学基本要求,也只能反映出我国工程实践教学的主要进展,而不能反映出全部进展。

我国工程训练中心建设所取得的创造性成果,使其成为我国高等工程教育改革不可或缺的重要组成部分。而其中的教材建设,则是将这些重要成果进一步落实到与学生学习过程紧密结合的层面。让我们共同努力,为编写出工程训练领域高质量、高水平的系列新教材而努力奋斗!

清华大学 傅水根

2011年6月26日

前言



FOREWORD

特种加工亦称“非传统加工”，泛指用电能、热能、光能、电化学能、化学能、声能及特殊机械能等能量达到去除或增加材料的加工方法，从而实现材料被去除、变形、改变性能或被镀膜等。它是近几十年发展起来的新工艺，是对传统加工工艺方法的重要补充与发展。

随着现代加工要求的提高，特种加工的应用日益广泛，从而对特种加工技术人员也提出了更高的要求。为适应特种加工技术的迅速发展和应用的需要，国内许多工科院校增设了特种加工课程和培训设备。

本书内容主要包括电火花加工技术、电火花线切割加工技术、快速成形制造技术、超声波加工技术、激光加工技术、电子束和离子束加工技术以及电化学加工技术。

本书作为机械及相关专业的理论与实践教材，具有如下特点：

(1) 强调理论与实践相结合。在各个加工技术介绍过程中，不仅对其理论知识进行了详尽介绍，而且结合实践，对各种加工方法进行全面剖析。

(2) 注重技术发展潮流。在各个加工技术介绍之余，增加了各技术最新发展动态。

(3) 突出启发式介绍模式。针对各种加工方法，对一些重点难点问题进行“提出问题—分析问题—解决问题”启发式介绍，加深读者印象，便于读者理解。

(4) 重视创新意识培养。在介绍过程中，通过引导性思维，提高读者兴趣爱好，促进创新意识的培养。

本书由桂林电子科技大学国家级实验教学示范中心——机电综合工程训练中心刘建伟、吕汝金、魏德强主编，其中第1、2、3章由刘建伟编写，第4、6章由吕汝金编写，第5、7、8章由魏德强编写。

由于特种加工技术涉及的内容较为广泛，而且时间仓促，书中难免有不足和欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2013年4月



CONTENTS

第 1 章 概论	1
第 2 章 电火花加工技术	3
2.1 电火花加工概述	3
2.2 电火花加工的特点与过程	6
2.3 电火花加工的影响因素	7
2.4 电火花成形加工及其应用	8
2.5 电火花高速小孔加工	14
2.6 电火花加工发展动态	17
第 3 章 电火花线切割加工技术	19
3.1 电火花线切割加工的基本原理及分类	19
3.2 电火花线切割加工的特点和主要用途	21
3.3 电火花线切割加工机床与型号	22
3.4 电火花线切割加工工艺	23
3.5 电火花线切割加工程序的编制	27
3.6 电火花线切割加工编程训练	34
3.7 电火花线切割加工发展动态	37
第 4 章 快速成形制造技术	40
4.1 快速成形制造技术概述	40
4.2 快速成形技术分类及原理	42
4.3 快速成形技术的工程应用	46
4.4 快速成形设备及系统	48
4.5 快速成形加工技术实训	57
4.6 快速成形技术的发展趋势	61
第 5 章 超声波加工技术	63
5.1 超声波概述	63



5.2	超声波加工原理·····	64
5.3	超声波加工的特点和应用·····	66
5.4	超声波加工机床的基本组成·····	69
5.5	超声波加工的工艺规律·····	72
5.6	超声波加工实例·····	74
第 6 章	激光加工技术 ·····	75
6.1	激光加工技术概述·····	75
6.2	激光产生的原理·····	78
6.3	激光在工业加工中的应用·····	83
6.4	激光加工设备·····	87
6.5	激光加工技术实训·····	90
6.6	激光加工技术的发展趋势·····	94
第 7 章	电子束和离子束加工技术 ·····	96
7.1	电子束加工技术·····	96
7.2	离子束加工技术 ·····	101
第 8 章	电化学加工技术 ·····	106
8.1	电解加工技术 ·····	107
8.2	电铸加工技术 ·····	112
8.3	电化学加工技术的发展趋势 ·····	114
参考文献	·····	116



概 论

1. 特种加工的概念和特点

特种加工,又称为非传统加工(non-traditional machining,NTM),指借助电能、热能、声能、光能、电化学能、化学能以及特殊机械能等多种能量或其复合施加在工件上,实现材料去除、变形、改性、镀覆或添加等的加工方法。特种加工是制造技术中的重要组成部分。近年来,随着制造精细化、复杂化和结构特殊化逐渐增加,以及计算机技术、微电子技术和控制技术的迅速发展,社会需求和技术进步的结合促使特种加工技术实现了飞跃发展。

特种加工与常规切削加工相比,具有如下特点:

- (1) “以柔克刚”。因工具与工件不直接接触,在加工范围上不受材料的物理、机械性能的限制,能加工硬的、软的、脆的、耐热或高熔点金属及非金属材料。
- (2) 易获得良好的表面质量,残余应力、热应力、热影响区、冷作硬化等均较小。
- (3) 易于加工比较复杂的型面、微细表面及柔性零件。
- (4) 加工过程中工件与工具间不存在显著的机械切削力。
- (5) 各种加工方法易于复合形成新的工艺方法,便于推广和应用。

2. 特种加工的分类

特种加工技术所包含的范围非常广,随着科学技术的发展,特种加工的方法也在不断丰富。目前主要涉及的特种加工如表 1-1 所示。

表 1-1 特种加工方法

加工方法		工件材料	精度/ μm	表面粗糙度/ μm	应用
电火花加工	成形加工	导电材料	50~1	2.5~0.02	型腔模等
	线切割加工		20~1	2.5~0.16	样板、冲模
	高速小孔加工		20~1	2.5~0.1	打孔
激光加工		任何材料	10~1	6.3~0.12	打孔、切割、焊接、热处理等
超声波加工		脆硬材料	30~5	2.5~0.04	型孔、型腔
快速成形加工		光敏树脂、陶瓷粉末、塑料、金属	100~10	50~1	产品原型、模具制造等
电子束加工		任何材料	10~1	6.3~0.12	微孔、镀膜、焊接、蚀刻、抛光
离子束加工		任何材料	0.01~0.001	0.02~0.01	蚀刻、抛光
电化学加工	电解	导电材料	100~3	1.25~0.06	金属型孔、型面、型腔
	电铸	金属	1	0.02~0.012	金属成形小零件

3. 特种加工的发展趋势

特种加工技术的发展趋势主要有以下几点:

(1) 采用自动化技术。充分利用计算机技术对特种加工设备的控制系统、电源系统进行优化,加大对特种加工的基本原理、加工机理、工艺规律、加工稳定性等研究的力度,建立综合工艺参数自适应控制装置、数据库等(如超声、激光等加工),进而建立特种加工的CAD/CAM与柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS),使加工设备向自动化、柔性化方向发展,这是当前特种加工技术的主要发展方向。

(2) 趋向精密化研究。高新技术的发展促使高新技术产品向超精密化与小型化方向发展,对产品零件的精度与表面粗糙度提出更严格的要求。为适应这一发展趋势,特种加工的精密化研究已引起人们的高度重视,因此,大力开发用于超精加工的特种加工技术已成为重要的发展方向。

(3) 开发新工艺方法及复合工艺。为适应产品的高技术性能要求与新型材料的加工要求,需要不断开发新工艺方法,包括微细加工和复合加工,尤其是质量高、效率高、经济型的复合加工,如工程陶瓷、复合材料以及聚晶金刚石等。

(4) 向“绿色”加工的方向发展。污染问题极大影响和限制了有些特种加工应用与发展。加工过程中产生的废渣、废气如果排放不当,会造成环境污染,影响工人健康,因此必须花大力气处理并利用废气、废液、废渣。

(5) 进一步开拓特种加工技术。以多种能量同时作用,相互取长补短的复合加工技术,如电解磨削、电火花磨削、电解放电加工、超声电火花加工等,需要不断发展。



电火花加工技术

学习内容和要求

- (1) 掌握电火花加工原理及特点;
- (2) 了解电火花加工分类及加工过程;
- (3) 了解电火花加工的影响因素;
- (4) 熟悉电火花成形加工方法;
- (5) 了解电火花高速小孔加工方法。

电火花加工是特种加工中最常见、最重要的加工方法之一,在国防、航空、民用以及科学研究等方面得到广泛应用,其相应的设备已有较成熟的技术支撑,功能也日趋完善。

2.1 电火花加工概述

1. 电火花加工起源

电火花加工中的电蚀现象早在 19 世纪末就被人们发现,如开关的启闭所产生的电火花对接触表面的损害。但真正将电蚀现象运用到实际加工中的是:20 世纪早期苏联的拉扎林科在研究开关触点遭受火花放电腐蚀、损坏的现象和原因时,发现电火花的瞬时高温使局部金属熔化、气化而被蚀除掉,从而开创和发明了电火花加工方法,并于 1943 年利用电蚀原理研制出世界上第一台实用化的电火花加工装置。我国在 20 世纪 50 年代初期开始研究电火花设备,并于 60 年代初研制出第一台靠模仿形电火花线切割机床。

2. 电火花加工概念

电火花加工是一种利用电能和热能进行加工的新工艺,俗称放电加工(electrical discharge machining, EDM)。电火花加工与一般切削加工的区别在于:电火花加工工具与工件并不接触,而是靠工具与工件间不断产生的脉冲性火花放电,利用放电时产生局部、瞬时的高温把金属材料逐步蚀除下来,由于在放电过程中有可见火花产生,故称电火花加工。

3. 电火花加工原理

电火花加工是利用处于一定介质中的工具电极和工件电极之间火花放电时的电腐蚀现象对材料进行加工的方法。要产生火花放电应具备一定的条件,如合适的放电间隙、一定的

放电延续时间和加工过程必须在具有绝缘性能的介质中进行等。电火花加工原理示意图如图 2-1 所示。

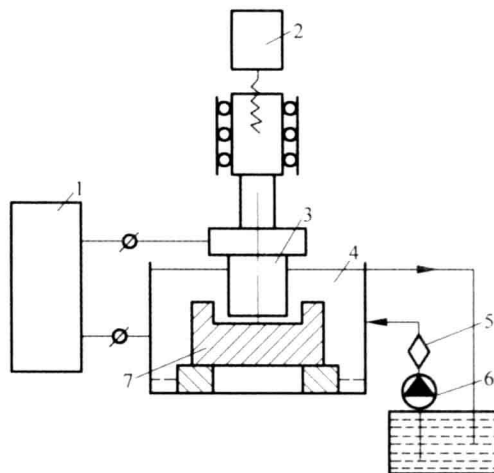


图 2-1 电火花加工原理图

1—脉冲电源；2—自动进给调整装置；3—工具电极；4—工作液池；5—过滤器；6—工作液泵；7—工件

当工件与工具两电极间电压加到直流 100V 左右,极间某间隙最小处或绝缘强度最低处介质被击穿引起电离并产生火花放电,产生瞬时高温,使工件表面蚀除掉一小部分金属,形成一个小凹坑。然后经过一段时间间隔,排除电蚀产物和介质恢复绝缘,再在两级间加电,……,如此连续的重复放电,工具电极不断地向工件进给就可将工具的形状复制在工件上,加工出所需要的零件。

根据工件所接极性的不同,电火花加工分为正极性接法和负极性接法。所谓正极性接法就是工件接正极,工具接负极;相反,如果工件接负极,工具接正极,则称为负极性接法。其示意图如图 2-2 所示。

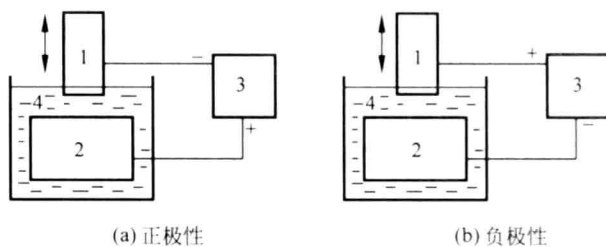


图 2-2 电火花极性示意图

1—工具电极；2—工件；3—脉冲电源；4—工作介质

4. 电火花加工分类

电火花加工工艺及机床设备的类型较多,但按工艺过程中工具与工件相对运动的特点和用途来分,大致可以分为七大类:电火花成形加工、电火花线切割加工、电火花磨削和铰磨、电火花同步共轭回转加工、电火花高速小孔加工、电火花铣削加工、电火花表面强化及刻

字。前六类属于电火花成形、尺寸加工,是用于改变零件形状或尺寸的加工方法;后者则属于表面加工方法,用于改善或改变零件表面性质。其中应用最广、数量较多的是电火花线切割机床和电火花成形加工机床。表 2-1 所列总的分类情况及各类加工方法的主要特点和用途。

表 2-1 电火花加工工艺方法分类

类别	工艺方法	特 点	用 途	备 注
1	电火花成形加工	(1) 工具和工件间主要有一个相对的伺服进给运动; (2) 工具为成形电极,与被加工表面有相同的截面或形状	(1) 型腔加工:加工各类型腔模及各种复杂的型腔零件; (2) 穿孔加工:加工各种冲模、挤压模、粉末冶金模、各种异形孔及微孔等	约占电火花机床总数的 30%,典型机床有 D7125, D7140 等电火花穿孔成形机床
2	电火花线切割加工	(1) 工具电极为沿着其轴线方向移动着的线状电极; (2) 工具与工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动	(1) 切割各种冲模和具有直纹面的零件; (2) 下料、截割和窄缝加工; (3) 直接加工出零件	约占电火花机床总数的 60%,典型机床有 DK7725, DK7740 等数控电火花线切割机床
3	电火花磨削和镗磨	(1) 工具与工件有相对的旋转运动; (2) 工具与工件间有径向和轴向的进给运动	(1) 加工高精度、表面粗糙度值小的小孔,如拉丝模、挤压模、微型轴承内环、钻套等; (2) 加工外圆、小模数滚刀	约占电火花机床总数的 3%,典型机床有 D6310 电火花小孔内圆磨床
4	电火花同步共轭回转加工	(1) 成形工具与工件均作旋转运动,但两者角速度相等或成整数倍,接近的放电点可有切向相对运动速度; (2) 工具相对工件可作纵、横向进给运动	以同步回转、展成回转、倍角速度回转等不同方式,加工各种复杂形面的零件,如高精度的异形齿轮,精密螺纹环规,高精度、高对称、表面粗糙度值小的内、外回转体表面等	约占电火花机床总数的 1% 以下,典型机床有 JN-2, JN-8 等内外螺纹加工机床
5	电火花高速小孔加工	(1) 采用 $\phi 0.3 \sim 3\text{mm}$ 空心管状电极,管内冲入高压水基工作液; (2) 细管电极旋转	(1) 加工速度可高达 60mm/min ,深径比可达 $1:100$ 以上; (2) 线切割预穿丝孔; (3) 深径比很大的小孔,如喷嘴等	约占电火花机床总数的 2%,典型机床有 D7003A 电火花高速小孔加工机床
6	电火花铣削加工	工具电极相对工件作平面或空间运动,类似常规铣削	(1) 适合用简单电极加工复杂形状; (2) 由于加工效率不高,一般用于加工较小零件	各种多轴数控电火花加工机床有此功能
7	电火花表面强化及刻字	(1) 工具在工件表面上振动; (2) 工具相对工件移动	(1) 模具刃口,刀具、量具刃口表面强化和镀膜; (2) 电火花刻字、打印记	占电火花机床总数的 2%~3%,典型机床有 D9105 电火花强化机等

2.2 电火花加工的特点与过程

1. 电火花加工的特点

电火花加工与一般的切削加工方法有所不同,其优点主要体现在:

(1) 在加工过程中,工件与工具不相互接触,不存在宏观作用力,因此电火花加工不受工件材料的物理和力学性能的限制;

(2) 电火花加工是利用热效应来“腐蚀”金属,热影响区小,属于局部放热现象;

(3) 电火花加工表面由很多小弧坑组成,有利于冷却介质的进入;

(4) 易于实现自动化。

电火花加工的局限性主要包括:

(1) 电火花加工属于电加工,因此主要加工导电材料,只有在特定条件下才能加工半导体和绝缘体材料;

(2) 电火花加工效率较低;

(3) 电火花加工必须要工具电极,而且随着加工的进程,电极存在一定的损耗;

(4) 电火花加工过程须在工作液中进行。

2. 电火花加工的过程

电火花加工是一个非常复杂的过程,其微观过程是热力、流体力、电场力、磁力、电化等综合作用的结果。这一过程可分为以下四个阶段。

1) 极间介质的电离、击穿,形成放电通道

自动调节装置控制工具电极向工件缓慢靠近,两极间形成的电场随着距离的减小逐步增大,当两极间距离达到合适的放电距离(通常只有几微米到几百微米)时,由于两电极微观表面的凸凹不平,导致两极间电场不均匀,在距离最近的两点间电场强度最大,工作液介质中的杂质(如金属微粒)和自由电子在强大电场作用下,产生碰撞、电离,形成带负电和带正电的粒子,带电粒子达到一定数量后导致工作液介质电离、击穿,形成放电通道。

由大量带电粒子和中性粒子组成的放电通道,粒子高速向相反方向运动,形成碰撞产生大量热能,使通道中心温度达到 10000°C 以上。高温热膨胀形成的高压产生强烈的冲击波向四周传播,同时伴随热效应、光效应、声效应和电磁辐射,形成肉眼可见的火花。

2) 介质热分解、电极材料熔化、汽化热膨胀

极间介质一旦被电离、击穿、形成放电通道后,脉冲电源使通道间的电子高速奔向正极,正离子奔向负极。电能变成动能,动能通过碰撞又转化为热能。于是,在通道两端的正极和负极表面分别成为瞬间热源,并在瞬间达到很高的温度,从而将工作液介质汽化、热分解,同时使金属材料表面熔化甚至汽化,产生爆炸特性。

3) 电极材料的抛出

通道间形成的高温、高压使汽化了的气体体积不断向外膨胀,同时带着熔化、汽化了金属材料抛向工作液中。

4) 极间介质的电离消除

随着一次脉冲电压的结束,脉冲电流也迅速降为零,标志着一次脉冲放电结束,但为了下一次放电的正常进行,此后应有一段间隔时间,使间隙介质消电离,即放电通道中带电粒子复合为中性粒子,恢复本次放电通道处间隙介质的绝缘强度,以免总是重复在同一处发生放电而导致电弧放电,同时及时有效地排出蚀除下来的金属微粒、碳粒子和气泡等。因此,为了保证电火花加工的正常进行,在两极脉冲放电之间必须有足够的脉冲间隔时间,其大小根据加工具体情况进行调节,脉冲间隔时间的长短影响加工质量和加工效率。

2.3 电火花加工的影响因素

电火花加工中,工件被腐蚀的过程是十分复杂的问题。通过研究影响加工工艺指标的因素,对应用电火花加工方法、提高电火花加工的生产率、降低工具电极的损耗极为重要。这些因素主要包括如下几方面。

1. 极性效应的影响

由于电火花加工中,工件和工具可以接不同极性,但是无论接正极还是负极,都会受到不同程度的电蚀现象。产生这种现象的主要原因是:在火花放电过程中,正电极表面受到负电子的撞击,而负电极表面受到正电子的撞击,各自受到瞬时热源的作用,在两极表面所分配到的能量不一样,因而电蚀量也不一样。

众所周知,电子的质量和惯性小,容易获得很高的加速度和速度,在击穿放电的初始阶段就有大量的电子撞击正极,把能量传递给正极表面,使电极材料迅速熔化、汽化。而正离子由于质量和惯性较大,启动和加速较慢,在击穿放电的初始阶段,大量的正离子还来不及到达负极表面,因此到达负极表面并传递能量的只有少部分的正离子。所以在用短脉冲(即放电持续时间较短)加工时,负电子对正极的撞击作用大于正离子对负极的撞击作用,故正极的蚀除速度大于负极的蚀除速度,这时应采用正极性接法。如果采用长脉冲加工时,质量和惯性较大的正离子将有足够的时间加速,到达并撞击负极表面的离子数将随放电时间的增长而增加,这时负极的蚀除速度大于正极的蚀除速度,因此应采用负极性接法。

2. 电参数的影响

电参数主要包括电压脉冲宽度、电流脉冲宽度、脉冲间隔、脉冲频率、峰值电流、峰值电压和极性等。

研究表明,在电火花加工中,单个脉冲的电蚀量与单个脉冲能量、脉冲频率成正比,因此提高单个脉冲能量和脉冲频率,减小脉冲间隔,就可以提高加工速度。但是,同时也将导致工件表面粗糙度的增加,因此应根据实际加工精度和表面粗糙度要求选择合理的电参数。

3. 金属材料热学常数的影响

热学常数是指材料的熔点、沸点、热导率、比热容、熔化热、汽化热等。单脉冲放电能量相同时,金属材料的熔点、沸点、比热容、熔化热、汽化热越高,则电蚀量越少、加工难度越大。热导率大的金属由于传热快,其电蚀量也小。