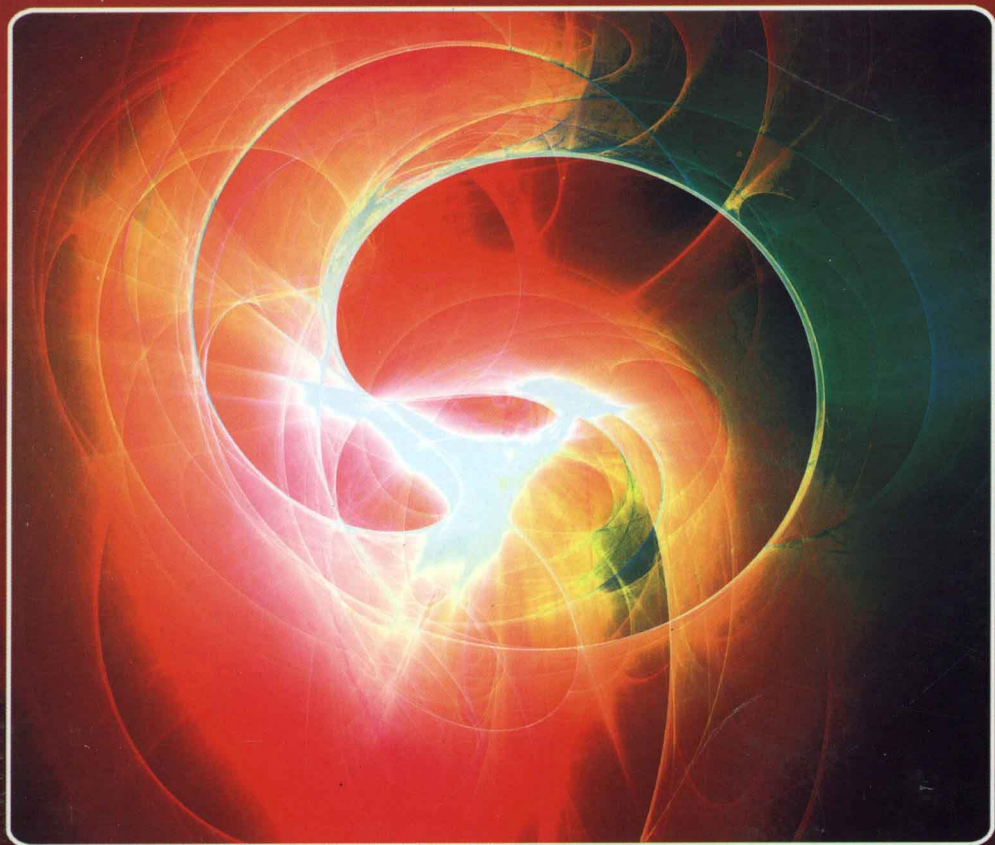


附赠数字光盘

特种加工技术

王瑞金 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



特种加工技术

王瑞金 主编



机械工业出版社

本教材旨在培养学生自主学习和掌握工程概念的同时,培养学生的工程实践能力。本教材根据制造技术的最新进展与需求,针对特殊零件的加工,讲解特种加工技术的基础知识和常用特种加工方法的原理及应用。涉及电火花加工、电火花线切割加工、电化学加工、高能束加工、物料切蚀加工、快速成形技术和其他特种加工方法。

本书配有教学课件光盘,适合作为应用型本科院校机电类的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术/王瑞金主编. —北京:机械工业出版社,2011.1
ISBN 978-7-111-32797-4

I. ①特… II. ①王… III. ①特种加工-教材 IV. ①TG66

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第250414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:李建秀 版式设计:张世琴

责任校对:肖琳 封面设计:马精明 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年2月第1版第1次印刷

169mm×239mm·17.25印张·336千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32797-4

ISBN 978-7-89451-807-1(光盘)

定价:35.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

编辑热线:(010) 88379733

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着生产的发展和科学的进步，工业部门要求科学技术产品向高速度、高精度、高可靠性、耐腐蚀、高温高压、大功率、尺寸大小两极分化的方向发展，随之而来的是各种难加工材料、复杂型面、超精和光整加工，以及各种特殊要求零件的加工。于是，人们冲破传统加工方法的束缚，不断探索，寻求到了一种本质上区别于传统加工的特种加工方法，并使其不断获得发展。

特种加工是除了单独利用机械能进行加工以外的所有加工方法的总称，它可以利用电能、热能、流体能、光能、声能、化学能及机械能等。

目前 80% 以上的特种加工设备用于模具加工，接近模具加工量的 40%，成为模具制造技术的重要手段。此外，特种加工还是微制造和超精加工的重要手段。本书介绍了电火花加工、电火花线切割加工、电化学加工、高能束加工、物料切蚀加工、快速成形技术和其他特种加工方法的原理、特点和主要应用。

本书是编者多年教学和企业实践的总结，作为应用型本科教材，其特色主要体现在：

1) 在保持知识体系完整性的同时，加强理论与实践的结合。在本书的各个章节列举了许多实例，同时也介绍了目前应用最为广泛的机床及其操作和编程，如数控电火花机床的加工编程、线切割机床的操作和编程等内容。

2) 根据科学技术发展的现状，适当增设了反映特种加工技术发展的内容，如线切割自动编程、超精密研磨抛光方法、铝合金微弧氧化技术、在线电解修整镜面磨削等。

3) 作为面向企业一线的应用型工程技术人才，需要了解行业和企业的相关常识和标准，为此本书也设置了相应的现行行业标准等内容。

4) 配有教学光盘，便于老师授课，光盘中还有北京阿奇线切割机床操作、深圳福斯特线切割机床操作、电火花机床操作的视频。

本教材可作为本科院校机电类专业应用型教材，同时也适用于高职、高专的相关专业，还可供从事特种加工技术的人员参考。

本教材由浙江科技学院王瑞金教授主编，并承担第 1、4、7 章以及参考文献和附录的编写，并部分参与了第 2、3、5、6、8 章的编写。同时参加编写的有浙江工业大学的许雪峰教授（第 8 章）、浙江理工大学的潘俊和李湘生副教授（第 3 章）、中国计量学院的卢锡龙副教授（第 6 章）、浙江师范大学虞付进副教授（第 5 章）和浙江科技学院的李勇工程师（第 2 章）。

本书在编写过程中参考了近年来特种加工技术的诸多论著和教材，特别是哈尔滨工业大学刘晋春教授和深圳职业技术学院周光旭教授编写的特种加工教材，在此深表感谢！同时，编者对参考文献中的各位作者也深表谢意！

由于编者水平有限，加之特种加工技术发展迅速，书中难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 特种加工及其发展概况	1
1.2 特种加工的特点及分类	2
1.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性的影响	6
1.4 特种加工存在的问题和发展趋势	7
思考题	7
第 2 章 电火花加工	8
2.1 电火花加工原理基础	8
2.1.1 电火花加工原理和特点	8
2.1.2 电火花加工微观机理	11
2.1.3 电火花加工常用术语	13
2.2 电火花加工设备	15
2.2.1 电火花加工机床组成和分类	15
2.2.2 典型加工机床的结构和技术参数	20
2.2.3 电火花加工机床工作液循环系统	21
2.3 电火花加工脉冲电源	23
2.3.1 电火花加工用脉冲电源的要求	23
2.3.2 RC 脉冲电源	23
2.3.3 闸流管电子管脉冲电源	24
2.3.4 晶体管式脉冲电源	24
2.3.5 各种派生的脉冲电源	25
2.4 电火花加工伺服进给系统	26
2.4.1 电火花加工自动进给调节系统的作用和要求	26
2.4.2 自动进给调节系统的基本组成部分	28
2.4.3 电液自动进给调节系统	29
2.4.4 电-机械式自动进给调节系统	29
2.5 电火花加工数控系统	30
2.5.1 数控电火花机床的类型	30
2.5.2 数控电火花机床的数控系统工作原理	30
2.6 电火花加工的工艺规律	36

2.6.1	影响材料电蚀量的因素	36
2.6.2	影响加工速度的主要因素	38
2.6.3	影响电极损耗的主要因素	42
2.6.4	影响加工精度的主要因素	47
2.6.5	影响表面质量的因素	48
2.6.6	加工工艺稳定性和电参数选择	49
2.7	电火花加工的应用	52
2.7.1	冲压模的电火花穿孔加工	52
2.7.2	型腔模的电火花成形加工	55
2.7.3	其他电火花加工	58
2.8	数控电火花加工机床的操作和实例	61
2.8.1	电火花加工准备工作	61
2.8.2	电极装夹与校正	70
2.8.3	电极的定位	71
2.8.4	工件的准备	72
2.8.5	电蚀产物的排除	73
2.8.6	加工参数转换及加工实例	75
2.8.7	电火花加工中应注意的一些问题	80
	思考题	82
第3章	电火花线切割加工	84
3.1	电火花线切割加工原理、特点和应用范围	84
3.2	数控电火花线切割加工机床	86
3.2.1	数控电火花线切割加工机床的机械系统	87
3.2.2	数控电火花线切割加工机床的脉冲电源	89
3.2.3	数控电火花线切割加工机床的工作液循环系统	90
3.2.4	数控电火花线切割加工机床的主要技术指标	91
3.2.5	数控电火花线切割加工机床的控制系统	93
3.3	编程方法和实例	94
3.3.1	ISO 编程	95
3.3.2	3B 编程	97
3.3.3	线切割自动编程简介	100
3.4	线切割工艺指标及影响因素	104
3.4.1	线切割加工的主要工艺指标	104
3.4.2	影响线切割工艺指标的因素	104
3.4.3	工艺参数的合理选择	113
3.5	线切割加工的操作、工艺和应用	115
3.5.1	线切割加工的操作	115

3.5.2 线切割加工的工艺和应用	121
思考题	128
第4章 电化学加工	131
4.1 电化学加工的原理、特点和分类	131
4.1.1 电化学加工的基本原理	131
4.1.2 电化学加工的特点	135
4.1.3 电化学加工的分类	136
4.2 电化学加工设备及其组成	136
4.3 电化学加工基本规律	138
4.4 电解加工	140
4.4.1 电解加工的基本原理和基本规律	140
4.4.2 电解加工的设备及其基本条件	142
4.4.3 电解加工时的电极反应	145
4.4.4 电解液	147
4.4.5 电解加工质量的提高	152
4.4.6 电解加工的阴极设计	155
4.4.7 电解加工工艺及应用	162
4.5 电铸、涂镀和复合镀加工	168
4.5.1 电铸加工	168
4.5.2 涂镀加工	172
4.5.3 复合镀加工	174
4.6 电解抛光	175
4.7 电解磨削	178
思考题	186
第5章 高能束加工	187
5.1 激光加工	187
5.1.1 激光加工的原理	187
5.1.2 激光加工的特点和应用	191
5.1.3 激光加工设备	195
5.2 电子束加工	197
5.3 离子束加工	201
5.4 等离子体加工	204
5.5 微波细微加工	206
思考题	206
第6章 物料切蚀加工	208
6.1 超声加工	208

6.2 液体喷射加工	216
6.3 磨料喷射加工	218
6.4 磨料流加工	220
思考题	222
第7章 快速成形技术	223
7.1 光敏树脂液相固化成形	223
7.2 薄片分层叠加成形	226
7.3 选择性激光粉末烧结成形	229
7.4 熔丝堆积成形	232
7.5 其他快速原型制造技术	234
思考题	237
第8章 其他特种加工方法	238
8.1 化学加工	238
8.1.1 化学刻蚀加工	238
8.1.2 光化学腐蚀加工	239
8.1.3 化学抛光	243
8.1.4 化学镀膜	244
8.2 磁性研磨和磁性电解研磨	244
8.2.1 磁性磨料研磨加工	244
8.2.2 磁性磨料电解研磨加工	246
8.2.3 磁浮置研磨加工	247
8.3 铝合金微弧氧化技术	248
8.4 超精密研磨抛光方法	253
8.5 复合切削加工	257
8.6 其他复合加工	261
思考题	263
附录 特种加工国家及行业标准	264
参考文献	266

第 1 章 概 述

1.1 特种加工及其发展概况

众所周知, 18 世纪 70 年代就发明了蒸汽机, 但并没有马上应用到工业实际, 原因是气缸的制造精度不够, 直到气缸镗床的研制和改进, 才使蒸汽机的应用得到推广, 也引发了第一次产业革命。由此可见, 加工方法和手段对新产品研制和社会经济所起的作用是十分巨大的。

从第一次产业革命到第二次世界大战, 传统的切削加工占据了整个机械加工业, 对特种加工也没有迫切的要求; 但 20 世纪 30 年代以后, 特别是 20 世纪 50 年代以来, 随着生产的发展和科学的进步, 很多工业部门, 特别是国防工业和航空航天工业, 要求科学技术产品向高速度、高精度、高可靠性、耐腐蚀、高温高压、大功率、尺寸大小两极分化的方向发展, 随之而来的是各种难加工材料、特殊的复杂型面、超精和光整加工, 以及各种特殊要求的零件的加工。如硬质合金、耐热钢、金刚石、宝石、半导体材料等硬度高、强度大、韧性好或脆性特别大的材料的加工; 蜗轮机叶片、锻压模具、喷油嘴、喷丝孔、窄缝等复杂型面的加工; 陀螺仪、伺服阀的高精和光整加工; 细长轴、弹性元件等低刚度零件的加工等。于是, 人们一方面通过研究高效加工的刀具和刀具材料、自动优化切削参数、提高刀具可靠性、开发新型切削液和在线刀具监控系统、研制新型自动机床等途径进一步改善切削状态, 提高切削加工水平, 并解决了一些问题; 另一方面, 则冲破传统加工方法的束缚, 不断探索、力图寻求新的加工方法, 于是一种本质上区别于传统加工的特种加工方法应运而生, 并不断获得发展。其中, 前苏联科学家拉扎林柯夫妇在研究开关触点受电火花放电腐蚀损坏的现象时, 发现电火花放电所产生的瞬间高温对金属材料有熔化和汽蚀作用, 于是发明了电火花加工方法。该方法可以用软的工具材料加工很硬的工件, 获得了以柔克刚的效果。电火花加工是从加工机理和加工形式上脱离传统切削加工方法的先例, 随后又出现了激光加工、电化学加工、超声加工、电子束加工、离子束加工等多种与传统加工完全不同的新型加工方法, 形成了现在统称的“特种加工”方法。

近年来, 电火花加工机床的生产和销售已经远远超过金属切削机床的增长, 各种特种加工方法的应用也日益广泛。同时, 各种特种加工方法也在不断地发

展,并衍生出各种特种加工方法相结合(也有与传统机械加工相结合)的新型复合加工。目前,特种加工已经成为制造领域不可缺少的重要手段,在难加工材料、细微加工、特殊型面加工等方面发挥着越来越重要的作用。

随着科学技术的发展,特种加工技术在较短的时间内取得了很大的进步,已经成为先进制造技术的重要组成部分。随着各种特种加工机理的研究和发展,这种非传统加工技术越来越趋于完善,特别是与计算机技术相结合,使特种加工进入了数字化制造领域,这对特种加工技术的发展和推广应用产生了很大的促进作用。

特种加工方法的广泛利用,极大地促进了制造业的发展,使得一些传统加工方法获得了强有力的工艺支持。同时,机械制造技术不断面临的新挑战,也使特种加工技术获得了新的机遇。因此,随着各种新型材料的不断出现和新工艺的不断提出,特种加工技术正在以崭新的面貌出现在机械制造领域。

1.2 特种加工的特点及分类

特种加工是除了单独利用机械能进行加工以外的所有加工方法的总称,它可以利用电能、热能、流体能、光能、声能、化学能及机械能等。为了区别于现有的金属切削方法(即传统的加工方法),国际上比较习惯于称之为非传统加工(Non-Traditional Machining, NTM)。

特种加工在加工机理和加工形式上与传统切削和成形加工有着本质的区别,主要体现在以下几点:

1) 不能只用机械能,与加工对象的力学性能无关。有些加工方法,如激光加工、电火花加工、等离子弧加工、电化学加工等,是利用热能、化学能、电化学能等,这些加工方法与工件的硬度、强度等力学性能无关,故可加工各种硬、软、脆、热敏、耐腐蚀、高熔点、高强度、特殊性能的金属和非金属材料。

2) 非接触加工。加工时不一定需要工具,有的虽使用工具,但与工件不接触。因此,工件不承受大的作用力,工具硬度可以低于工件硬度,因此可以加工刚性极低元件及弹性元件。

3) 微细加工。工件表面质量高,有些特种加工,如超声加工、电化学加工、水喷射加工、磨料流加工等,其加工余量都十分微细,故不仅可以加工尺寸微小的孔或狭缝,还能获得很好的加工表面质量。

4) 加工中不存在机械应变或大面积的热应变,可获得较低的表面粗糙度值,其热应力、残余应力、冷作硬化等均比较小,尺寸稳定性也好。

5) 两种或两种以上的不同类型的能量可以相互组合,形成新的复合加工,其综合加工效果明显,且便于推广使用。

6) 特种加工对简化加工工艺、变革新产品的设计及零件结构的工艺性等会产生积极的影响。

与其他先进制造技术一样,特种加工正在研究、开发推广和应用之中,具有很好的发展潜力和应用前景。特种加工的分类见表1-1。

表 1-1 特种加工的分类

加工方法		主要能量形式	作用形式	英文缩写
电火花加工	电火花成形加工	电、热能	熔化、汽化	EDM
	电火花线切割加工	电、热能	熔化、汽化	WEDM
电化学加工	电解加工	电化学能	阳极溶解	ECM
	电铸加工	电化学能	阴极沉积	EFM
	涂镀加工	电化学能	阴极沉积	EPM
	电解磨削	电化学能、机械能	阳极溶解、机械磨削	ECCG
高能束加工	激光束加工	光、热能	熔化、汽化	LBM
	电子束加工	电、热能	熔化、汽化	EBM
	离子束加工	电、机械能	切蚀	IBM
	等离子弧加工	电、热能	熔化、汽化	PAM
物料切蚀加工	超声加工	声、机械能	切蚀	USM
	磨料流加工	机械能	切蚀	AFM
	液体喷射加工	流体能、机械能	切蚀	LJC
快速成形加工	光固化法	光、化学能	增加材料	SL
	粉末烧结法	光、热能		SLS
	叠层实体法	光、机械能		LOM
	熔丝堆积法	电、热、机械能		FDM
复合加工	电化学电弧加工	电化学能	熔化、汽化腐蚀	ECAM
	电解电火花磨削	电、热能	阳极溶解、熔化、切削	MEEC
	电化学腐蚀加工	电化学能、热能	熔化、汽化腐蚀	ECP
	超声放电加工	声、热、电能	熔化、切蚀	USEC
	复合电解加工	电化学、机械能	切蚀	CECM
	复合切削加工	机械、声、磁能	切削	CSMM
其他加工方法	化学铣切加工	化学能	腐蚀	CM
	光化学加工	光、化学能	光化学、腐蚀	OCM/OCC
	刻蚀加工	化学能	腐蚀	CE
	爆炸加工	化学能、机械能	爆炸	BP

电火花加工是通过工件和工具电极间的放电而有控制地去除工件材料，以及使材料变形、改变性能或被镀覆的特种加工方法。其中，电火花成形加工适用于各种有孔、槽的模具，还可刻字、表面强化、涂覆等；电火花切割加工适用于各种冲模、粉末冶金模及工件，可切割各种样板、磁钢及硅钢片的冲片，以及钼、钨、半导体或贵金属等。

电化学加工是通过电化学反应去除工件材料或在其表面镀覆金属材料等的特种加工方法。其中电解加工适用于深孔、型孔、型腔、型面、倒角去毛刺、抛光等；电铸加工适用于形状复杂、精度高的空心零件，如波导管、注塑用的模具、薄壁零件等，还可以复制精密的表面轮廓以及表面粗糙的样板、反光镜、表盘等零件；涂覆加工可针对表面磨损、划伤、锈蚀的零件进行，以恢复尺寸，也可对尺寸超差产品进行涂覆补救，还可对大型、复杂、小批工件表面的局部镀防腐层、耐腐层，以改善表面性能。

高能束加工是利用能量密度很高的激光束、电子束或离子束等去除工件材料的特种加工方法。其中，激光束加工主要的应用有打孔、切割、焊接、金属表面的激光强化、微调和存储等；电子束加工有热型和非热型两种，热型加工是利用电子束将材料的局部加热至熔化点或汽化点，适合打孔、切割槽缝、焊接及其他结构的微细加工。非热型加工是利用电子束的化学效应进行刻蚀，以及大面积薄层的微细加工等；离子束加工主要用于微细加工、溅射加工和注入加工；等离子弧加工适用于各种金属材料的切割、焊接、热处理，还可制造高纯度氧化铝、氧化硅，强化工件表面，以及进行等离子弧堆焊及喷涂。

物料切蚀加工是利用超声波、高速射流、磨料流等将材料切割成所需形状的加工方法。超声加工是利用超声振动的工具在有磨料的液体介质中或干磨料中产生的冲击、抛光、液压冲击及由此产生的气蚀作用来去除材料，以及超声振动使工件相互结合的加工方法，适用于成形加工、切割加工、焊接加工和超声清洗等；液体喷射加工是利用水或在水中加添加剂的液体，经水泵及增压器产生高速液体束流，喷射到工件表面，从而达到去除材料的目的。可加工薄而软的金属及非金属材料，去除腔体零件内部毛刺，使金属表面产生塑性变形等；磨料流加工适用于去毛刺、表面清理、切割加工、雕刻、落料及打孔等。

其他加工方法包括化学加工、微波加工、化学抛光、化学镀膜、磁化切削等，其中化学加工是利用化学溶液与金属产生化学反应，使金属腐蚀溶解，改变工件形状、尺寸的加工方法。其用途为：去除材料表层，以减轻工件重量；有选择地加工较浅或较深的空腔及凹槽；对板材、片材、成形零件及挤压成形零件进行锥孔加工等。

复合加工是指同时在加工部位上组合两种或两种以上的不同类型的能量去除工件材料的特种加工方法。

表 1-2 所示为一些常见的特种加工方法的性能、用途和工艺参数。

表 1-2 常见特种加工方法的性能、用途和工艺参数

加工方法	可加工材料	电极损耗 (%) (最低/平均)	材料去除率 / (mm ³ /min) (平均/最高)	尺寸精度 /mm (平均/最高)	表面粗糙度值 R _a /μm (平均/最高)	主要适用范围
电火花成形加工	任何导电金属材料,如硬质合金、耐热钢、不锈钢、钛合金等	0.1/10	30/3000	0.03/0.003	10/0.04	从微米尺寸的孔、槽到数米长的超大型模具、工件等,如圆孔、方孔、弯孔、螺孔以及冲模、锻模、压铸模、拉丝模、塑料模等,还可刻字、表面强化、涂覆加工
电火花线切割加工		较小可补偿	20/200	0.02/0.002	5/0.32	切割各种冲模、塑料模、粉末冶金模等三维及二维直纹面组成的模具及零件。可切割各种样板、磁钢、硅钢片冲片,也可用于钨、钼、半导体材料的切割
电解加工		不损耗	100/10000	0.1/0.01	1.25/0.16	从细小零件到超大型工件及模具,如仪表微型小轴、齿轮上的毛刺、蜗轮叶片、炮管膛线、螺旋花键孔、各种异形孔、锻造模、铸造模,以及抛光、去毛刺等
电解磨削	任何脆性材料	1/50	1/100	0.02/0.001	1.25/0.04	硬质合金等难加工材料的磨削;如硬质合金刀具、量具、轧辊、小孔、深孔、细长杆磨削,以及超精光整研磨、珩磨
超声加工		0.1/10	1/50	0.03/0.005		加工、切割脆硬材料,如玻璃、石英、宝石、金刚石、半导体单晶锗、硅等,可加工型孔、型腔、小腔、深孔、槽缝等
激光束加工	任何材料	不损耗 无工具	瞬时去除率高,但受功率限制,平均去除率不高	0.01/0.001	10/1.25	精密加工小孔、窄缝及成形切割、刻蚀,如金刚石拉丝模、钟表宝石轴承、喷丝板的小孔、切割钢板、石棉、纺织品、焊接、热处理
电子束加工						难加工材料上的微孔、窄缝、刻蚀、焊接。在中、大规模集成电路和微电子器件中的应用
离子束加工						对零件表面进行超精密、超微量加工,抛光、刻蚀、掺杂、镀膜等

1.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性的影响

随着特种加工技术的不断发展和完善,使得这种新型加工方法在机械制造业中得到了广泛的应用。同时,也对传统的机械制造工艺方法产生了很多重要影响,特别是使零件的结构设计和制造工艺路线的安排产生了重大变革。

1. 提高了材料的可加工性

无论材料的硬度、韧性、脆性、强度如何,用特种加工方法都可加工。例如,以前认为金刚石、硬质合金、石英、陶瓷、硬质合金等材料的零件硬度大、难加工,但现在可以用电火花、电解、激光等方法进行加工,可制造金刚石和硬质合金刀具以及拉丝模具。材料的可加工性不再与材料硬度、韧性、脆性、强度等成比例关系。例如,对电火花加工而言,淬火钢比未淬火钢更容易加工,更容易得到高的加工质量。

2. 对零件结构工艺的影响

由于加工方法和加工工艺的限制,使许多结构不得不接受一些缺陷,如镶拼结构的应力集中较大等,如一些复杂模具采用电火花和线切割后可以做成整体式结构,增大模具的整体强度;喷气发动机涡轮可以用电火花加工得到扭曲叶片带冠整体结构;花键轴的齿根部分可以用电解加工得到一定圆角,减小工件的应力集中程度。

3. 改变了零件的典型加工工艺路线

从传统的产品设计角度来讲,以前除磨削外所有的机加工都需在零件淬火前进行,这是机加工工艺的基本准则,因为淬火后材料硬度大,机加工困难,加工质量差。若考虑用特种加工方法,如电火花成形加工、电火花线切割、电解加工等,则可以在淬火后加工,而且加工质量好。例如对在淬火前加工对刀块上的小孔,淬火时容易产生裂纹和变形,而淬火后加工则能保证质量。

4. 对工艺、材料等评价标准的影响

以前认为的难加工材料,如金刚石、宝石、玻璃、陶瓷、硅等非金属材料以及淬火钢、硬质合金、耐热钢、热敏材料等,现在可以采用电火花加工、激光加工、电解加工、电子束加工等合适的特种加工方法进行,完全可以满足生产率和加工质量的要求。对于低刚度零件、微小孔、异形孔、复杂空间曲面的加工,以前的切削加工方法由于切削力大、工具尺寸受限和刀具轨迹等原因加工困难,现在采用电火花加工、电解加工等,没有工具和工件之间的直接接触,没有了宏观的切削力和工件的变形,适合于低刚度零件的加工,同时工件形状完全由工具形状决定,适于异形孔和复杂空间曲面的加工;而激光加工、电子束加工、离子束加工等方法,可以加工微小孔,甚至于纳米级材料的加工。

1.4 特种加工存在的问题和发展趋势

1. 特种加工存在的问题

虽然特种加工已解决了传统切削加工难以解决的许多问题, 在提高产品质量、生产效率和经济效益上显示出了很大的优越性, 但目前也存在不少有待解决的问题。

1) 不少特种加工的机理(如超声加工、激光加工等)还不十分清楚, 其工艺参数的选择、加工过程的稳定性均需进一步提高。

2) 有些特种加工(如电化学加工)在加工过程中的废渣、废气若排放不当, 会产生环境污染, 影响工人健康。

3) 有些特种加工(如快速成形、等离子弧加工等)的加工精度及生产率有待提高。

4) 有些特种加工(如激光加工)所需设备投资大、使用维修费高, 亦有待进一步解决。

2. 特种加工的发展趋势

1) 按照系統工程的观点, 加大对特种加工的基本原理、加工机理、工艺规律、加工稳定性的深入研究力度。同时, 充分融合以现代电子技术、计算机技术、信息技术和精密制造技术为基础的高新技术, 使加工设备向自动化、柔性化方向发展。

2) 从实际出发, 大力开发特种加工领域中的新方法, 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, 并与适宜的制造模式相匹配, 以充分发挥其特点。

3) 污染问题是影响和限制有些特种加工应用和发展的严重障碍, 必须花大力气利用废气、废液、废渣, 向绿色加工的方向发展。

可以预见, 随着科学技术和现代工业的发展, 特种加工必将不断完善和迅速发展, 反过来又必将推动科学技术和现代工业的发展, 并发挥愈来愈重要的作用。

思 考 题

- 1-1 从特种加工的产生和发展举例分析科学技术中有哪些事例是“物极必反”? 有哪些事例是“坏事变好事”?
- 1-2 试列举几种采用特种加工工艺后, 对材料可加工性和结构工艺性产生重大影响的实例。
- 1-3 机加工工艺和特种加工工艺之间有何差别? 如何处理?
- 1-4 何谓特种加工? 有哪些主要方法? 为什么特种加工能用来加工难加工的材料和形状复杂的工件?

第 2 章 电火花加工

电火花加工 (Electrospark Machining) 又称放电加工 (Electrical Discharge Machining, EDM), 在 20 世纪 40 年代开始研究并逐步应用于生产实际。它是在加工过程中使工件和工具之间不断产生脉冲性火花放电, 靠放电时的局部瞬间高温把金属材料蚀除的。因放电过程可以见到火花, 故称为电火花加工。

2.1 电火花加工原理基础

2.1.1 电火花加工原理和特点

1. 电火花加工原理

电火花加工是基于电火花腐蚀原理, 是在工具电极与工件电极相互靠近时, 极间形成脉冲性火花放电, 在电火花通道中产生瞬时高温, 使金属局部熔化, 甚至汽化, 从而将金属蚀除下来, 以达到尺寸、形状及表面质量的预定加工要求。

放电腐蚀的机理是: 当工具电极和工件电极在绝缘的介质中靠近时, 极间的相对近点的电场强度为最大, 在极间电压的作用下, 产生雪崩式的电离, 从而产生放电通道。放电通道是由大量的正离子、负离子和中性粒子组成的等离子体, 它们之间的高速运动、相互碰撞, 在很短的时间内产生了大量的热, 另外, 通道受介质的压缩、电磁的压缩, 使得通道的面积很小, 从而使通道内的材料吸收能量后, 产生熔化甚至汽化, 并产生放电爆炸而把金属材料抛出到介质中, 达到蚀除材料的目的。经过多次放电, 即可在工件表面留下多个蚀坑, 达到尺寸加工的目的。

为了将这个原理运用到尺寸加工中, 还须解决以下问题:

1) 工具和工件之间必须保持一定的放电间隙, 间隙视具体加工条件而定, 一般为 $0.02 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。如果间隙过大, 极间电压可能无法击穿工作介质, 无法产生电火花; 反之, 如果间隙太小, 有可能引起短路, 无法产生电火花。所以需要—个伺服进给系统, 来确保工件和工具之间的间隙保持在一个合适的数值。

2) 火花放电必须是脉冲性放电。放电间隙加上电压后需延续一段时间 t_i , 然后需停歇一段时间 t_0 , 一般脉冲宽度正常时间 $t_i = 1 \sim 1000 \mu\text{s}$, 而脉冲间隔停歇时间一般 $t_0 = 20 \sim 100 \mu\text{s}$, 这样才能使放电产生的热量和腐蚀下来的材料被流动的工作介质带走, 否则会产生电弧放电, 烧伤工件而无法达到尺寸加工的目的。