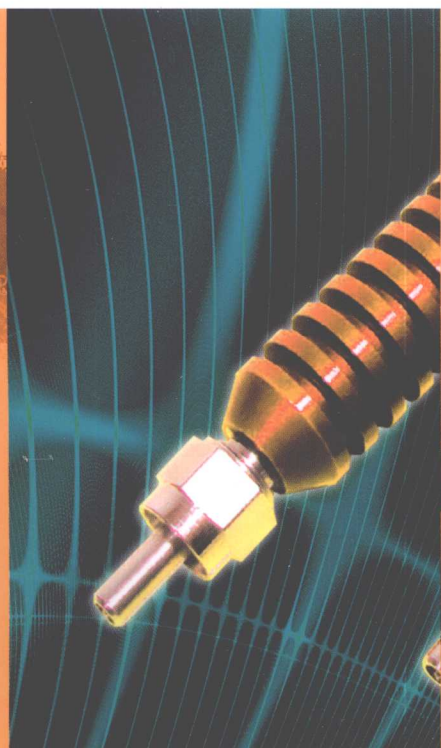


普通高等院校工程训练系列教材

特种加工实训

主 编 李海艳 刘世平

副主编 骆继民 赵 轶



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等院校工程训练系列教材

特种加工实训

主 编 李海艳、刘世平

副主编 骆继民 赵 轶

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在培养学生的自主精神、创新意识和工程概念的教育方针指导下,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的特种加工方法的原理及应用。主要包括电火花加工的基本原理、分类及其加工规律;电火花加工机床及加工实例;电化学加工原理及应用;激光加工技术;电子束和离子束加工技术和超声加工技术等。

本书可作为高等院校工程训练课程配套教材,也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工实训/李海艳,刘世平主编. —北京:科学出版社,2009

(普通高等院校工程训练系列教材)

ISBN 978-7-03-025071-1

I. 特… II. ①李…②刘… III. 特种加工-高等学校-教材 IV. TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 127510 号

责任编辑:孙明星 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:6 3/4

印数:1—3 500 字数:123 000

定价:18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

按照教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组提出的“学习工艺知识,增强工程实践能力,提高综合素质(包括工程素质),培养创新精神和创新能力”的课程教学目标,华中科技大学工程训练中心经过多年努力,建立了完善的工程训练机制,充分挖掘传统工程训练项目的内涵,发挥先进制造技术训练项目的优势,全面开展分层次、模块化、柔性化和开放式的工程训练活动,把创新实践融入工程训练的全过程中。通过作品创意设计、方案论证、工艺确定、加工制作、作品答辩等一系列环节,培养学生完整的工程意识、创新意识和综合能力。

在整合金工实习和电子工艺实习的基础上,突破原有的课程体系和内容的束缚,加强各主要实训部分教学内容之间的交叉与融合,注重提高学生的职业技能与素质,增强就业竞争力,建立了“主动实践,应用领先、边界再设计”、以提高学生综合能力和创新思维为主线的工程训练课程新体系。根据工程实践教学的基本特点,组织骨干教师,认真策划与实施,编写了这套工程训练系列教材。该系列教材重视理论紧密联系实际,提倡学习是基础,思考是关键,创新之根在于实践。通过一系列实践教学环节建立学生的创新意识,培养创新能力;通过构建相应的教学方法和教学手段,将创新教育有机地融入实践教学之中。

该系列教材由《冷加工技术》、《材料成形技术》、《特种加工技术》、《机械装配技术》、《机械创新设计技术》和《电子创新设计技术》组成,并配有相应的实验训练设备和实践教学模块。其内容覆盖面宽,知识反映面新,体现出现代工业技术综合性、多学科交叉与融合的特点,能够满足不同学科培养复合型、创造性人才的需要。该系列教材在内容和教学方法上强调综合,强调大工程背景,强化工程意识和工程实践能力的培养,尽力结合工业产品开发、设计、制造的全过程;大量增加了新材料、新技术、新工艺等“三新”内容,体现出科学技术的最新发展,使传统的金工实习和电子工艺实习平稳地朝现代工业培训的方向发展。

该系列教材以学生为主体,以教师为主导,在课程教学中实行以典型产品为载体的教学模式,突出先进制造技术的模块化教学,以主动工程实践的要求训练学生,以创新之根在于实践的精神培训学生,以组织参加大赛方式来促进常规创新活动,发现高端人才,显著提高了实践教学质量和教学效果。

该系列教材所展现的教学体系与教学内容,紧紧围绕人才培养目标,以教育观念创新为先导,以学生为本、质量为重为基本原则,利用工程训练中心良好的教学基础条件,依托机械、材料、交通、能源等学科优势,跟踪现代工程技术领域不断出现的新技术、新方法,借助现代化的教学手段,充分挖掘工程训练中心的教育教学

功能,积极探索和构建符合高素质人才成长要求的工程训练教学体系,实现了从“被动学习、被动实践”向“主动学习、主动实践”的转变,开创出一条培养学生综合素质和综合能力的有效途径。

傅水根

国家级教学名师

清华大学基础工业训练中心主任

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员

兼机械基础课程指导分委员会副主任委员

2008年8月

前 言

随着材料科学的不断发展,各种使用性能优异的材料不断涌现,但也有相当多的材料同时存在工艺性较差的问题,如高熔点、高硬度、高脆性、高韧性等,采用传统的制造方法难以满足相关的技术要求。生产上也有许多形状、结构特殊或复杂的零件,诸如高精度细长件、薄壁件、弹性元件、异型孔、窄缝等,采用传统制造方法较难完成。还有一些特殊的成形要求,比如准确复制皮革纹理到金属制品表面上等。这都促进了特种加工技术的发展。

特种加工意指采用不同于传统机械制造方法的工艺原理来进行材料成形或表面加工。目前,已有多达几十种的特种加工方法,解决了传统材料成形或切削加工方法难以解决的诸多问题,在机械制造行业发挥着越来越重要的作用。随着技术的进步,原来价格昂贵的一些特种加工设备、附件和耗材价格逐渐下降,各种特种加工方法也日渐普及。

当前,全国范围内传统金工实习内涵、边界不断在拓展,现代制造部分的比例不断提高。随着各高校不断增加对工程实践训练的投入,全国许多高校的工程训练中心都配置了特种加工设备和相应的实习项目。

为吸收当前特种加工领域的新发展,进一步提高特种加工实习教学质量,本书编者总结了近些年所承担的相关教学改革项目和多年指导特种加工实习的经验,编写了此书。本书由李海艳、刘世平主编,参与本书编写的还有赵轶、骆继民、王伟利、马宁等。

本书以电火花线切割加工、激光加工、快速原型制造、电火花原型加工等为主要内容,还包括电子束加工技术、离子束加工技术、电化学加工等特种加工方法。因为本书主要面向工程实训,编写时编者力求文字简洁易懂,对于各种特种加工工艺理论不作过多探讨,强调与工程实训现场教学密切结合,对于实训内容,力求详尽,以便于学生自学,希望基本做到在实习过程中可以根据此书所提供的内容直接进行相关的操作。

本书编写得到了华中科技大学金工实践教学指导委员会主任杨家军教授、华中科技大学工程实训中心主任汪春华副研究员、副主任贝恩海高级工程师、周立高级工程师、周世权副教授等,以及机械制造技术基础课程组全体老师的大力支持,在此向他们表示衷心感谢!

本书参考和引用了不少同类教材和同行们的资料,在此也向相关的作者表示衷心感谢!

限于编者水平,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月

目 录

序

前言

第 1 章 概论	1
1.1 特种加工的产生与发展	1
1.2 特种加工的分类与综合比较	2
第 2 章 电火花加工工艺	5
2.1 电火花加工的基本原理及其分类	5
2.2 电火花加工中的一些基本规律	9
2.3 电火花加工用脉冲电源	22
2.4 电火花加工的自动进给调节系统	26
2.5 电火花加工机床	31
2.6 数控电火花线切割加工	33
第 3 章 电化学加工技术	42
3.1 电化学加工的原理、分类、特点及适用范围	42
3.2 电化学加工设备及其组成部分	43
3.3 电化学加工工艺及规律	46
3.4 电化学加工的应用实例	50
第 4 章 激光加工	63
4.1 激光加工的原理及特点	63
4.2 激光加工的基本设备及其组成部分	64
4.3 激光加工的应用	66
第 5 章 电子束加工技术和离子束加工技术	74
5.1 电子束加工的原理、特点和装置	74
5.2 电子束加工的应用	76
5.3 离子束加工的原理、分类、特点和装置	78
5.4 离子束加工的应用	80

第 6 章 超声加工 83

6.1 超声加工的基本原理及特点..... 83

6.2 超声加工设备及其组成部分..... 84

6.3 超声加工的主要工艺指标及其提高途径..... 89

6.4 超声加工的应用..... 91

参考文献 97

第 1 章 概 论

1.1 特种加工的产生与发展

20 世纪 50 年代以来,根据生产发展和科学实验的需要,很多工业部门,尤其是国防工业部门要求产品朝高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化等方向发展,所用的材料越来越难加工,零件形状越来越复杂,精度、表面粗糙度和某些特殊要求也越来越高,对机械制造部门提出了下列新的要求:

(1) 各种难切削材料的加工问题,如硬质合金、软合金、耐热钢、不锈钢、淬火钢、金刚石、宝石、石英以及锗、硅等各种高硬度、高强度、高韧性、高脆性的金属及非金属材料的加工。

(2) 各种特殊复杂表面的加工问题,如发动机匣、整体涡轮、喷气涡轮机叶片、锻压模和注射模的立体成形表面,各种冲模、冷拔模上特殊断面的型孔、炮管内膛线、喷油嘴、栅网、喷丝头上的小孔、窄缝等的加工。

(3) 各种超精、光整或具有特殊要求的零件的加工问题,如细长轴、薄壁零件、伺服阀、弹性元件等低刚度零件的加工,以及对表面质量和精度要求很高的航空航天陀螺仪的加工。

在生产的迫切需求下,人们相继探索研究新的加工方法,于是各种区别于传统切削加工方法的特种加工方法先后应运而生。目前,特种加工技术已成为机械制造技术中不可缺少的一个组成部分。

特种加工不是主要依靠机械能,而是主要借助电能、热能、声能、光能、电化学能等能量或其复合以实现材料切除的加工方法,与机械加工方法相比具有许多独到之处:

(1) 加工范围不受材料物理、机械性能的限制,能加工任何硬的、软的、脆的、耐热或高熔点金属以及非金属材料。

(2) 易于加工复杂型面、微细表面以及柔性零件。

(3) 易获得良好的表面质量,热应力、残余应力、冷作硬化、热影响区以及毛刺等均比较小。

(4) 各种加工方法易复合形成新工艺方法,便于推广应用。

为进一步提高特种加工技术水平并扩大应用范围,当前特种加工技术的总体发展趋势主要有以下三个方面:

(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,建立综合参数自适应控制装置、数据库等,进而建立特种加工的CAD/CAM与FMS系统,这是当前特种加工技术的主要发展方向。

(2) 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,如工程陶瓷、复合材料以及聚晶金刚石等,由于具有特殊的加工性,要求采用新的工艺方法,有时还要求采用新的复合工艺方法。

(3) 趋向精密化研究。高技术的发展促使高技术产品朝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。

1.2 特种加工的分类与综合比较

特种加工技术所包含的范围非常广,随着科学技术的发展,特种加工技术的内容也不断丰富。特种加工的分类还没有明确的规定,一般按能量来源和作用形式以及加工原理可分为表1-1所示的形式。

表 1-1 特种加工的分类

特种加工方法		能量来源及形式	作用原理	英文缩写
电火花加工	电火花成形加工	电能、热能	熔化、气化	EDM
	电火花线切割加工	电能、热能	熔化、气化	WEDM
电化学加工	电解加工	电化学能	金属离子阳极溶解	ECM(ELM)
	电解磨削	电化学能、机械能	阳极溶解、磨削	EGM(EGC)
	电解研磨	电化学能、机械能	阳极溶解、研磨	ECH
	电铸	电化学能	金属离子阴极沉淀	EFM
	涂镀	电化学能	金属离子阴极沉淀	EPM
激光加工	激光切割、打孔	光能、热能	熔化、气化	LBM
	激光打标记	光能、热能	熔化、气化	LBM
	激光处理、表面改性	光能、热能	熔化、相变	LBT
电子束加工	切割、打孔、焊接	电能、热能	熔化、气化	EBM
离子束加工	蚀刻、镀膜、注入	电能、动能	原子撞击	IBM
等离子弧加工	切割(喷镀)	电能、热能	熔化、气化(涂覆)	PAM
超声加工	切割、打孔、雕刻	声能、机械能	磨料高频撞击	USM
化学加工	化学铣削	化学能	腐蚀	CHM
	化学抛光	化学能	腐蚀	CHP
	光刻	化学能	光化学腐蚀	PCM

由表 1-1 可以看出,除了借助于化学能或机械能的加工方法以外,大多数常用的特种加工方法均为直接利用电能或电能所产生的特殊作用而进行的加工方法,通常将这些方法统称为电加工。

20 世纪 60 年代以来,为了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得到迅速发展,如电解磨削、电火花磨削、电解放电加工、超声电火花加工等。常用特种加工方法综合比较见表 1-2。

表 1-2 常用特种加工方法综合比较

加工方法	可加工材料	工具损耗率/%(最低/平均)	材料去除率/(mm ² /min)(平均/最高)	可达到尺寸精度/mm(平均/最高)	可达到表面粗糙度 Ra/ μ m(平均/最高)	主要适用范围
电火花加工	任何导电的金属材料如硬质合金、耐热钢、不锈钢、淬硬钢、钛合金等	0.1/10	30/3000	0.03/0.003	10/0.04	从数微米的孔、槽到数米的超大型模具、工件等,如圆孔、方孔、异型孔、深孔、微孔、弯孔、螺纹孔以及冲模、锻模、压铸模、塑料模、拉丝模;还可以刻字、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、粉末冶金模等二维及三维直纹面组成的模具及零件,可直接切割各种样板、碳钢、硅钢片冲片,也常用于钼、钨、半导体材料或贵重金属的切割
电解加工		不损耗	100/10000	0.1/0.01	1.25/0.16	从细小零件到 1t 的超大型工件及模具,如仪表微型小轴、齿轮上的毛刺、涡轮叶片、炮管腔线、螺旋花键孔、各种异型孔、锻造模、铸造模以及抛光、去毛刺等
电解磨削		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研磨、衍磨
超声加工	任何脆性材料	0.1/10	1/50	0.03/0.005	0.63/0.16	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、小孔、深孔及切割等

续表

加工方法	可加工材料	工具损耗率/%(最低/平均)	材料去除率/(mm^2/min)(平均/最高)	可达到尺寸精度/ mm (平均/最高)	可达到表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$ (平均/最高)	主要适用范围
激光加工	任何材料	不损耗(三种加工,没有成形的工具)	瞬时去除率很高,受功率限制,平均去除率不高	0.01/0.001	10/0.4	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、化纤喷丝孔、镍,不锈钢板上打小孔,切割钢板、石棉、纺织品、纸张,还可焊接、热处理
电子束加工						在各种难加工材料上打微孔、切缝、蚀刻、曝光及焊接等,现常用于制造中、大规模集成电路微电子器件
离子束加工			很低	/0.01 μm	/0.01	对零件表面进行超精密、超微量加工、抛光、刻蚀、掺杂、镀膜等

第 2 章 电火花加工工艺

电火花是一种自激放电。火花放电不同于弧光放电、辉光放电等其他形式的自激放电。

火花放电的两个电极间在放电前具有较高的电压。当两电极接近时,其间隙介质被击穿后,随即发生火花放电。伴随击穿过程,两电极间的电阻急剧变小,两极之间的电压也随之急剧变低。火花通道必须在维持短暂的时间后及时熄灭,才能保持火花放电的“冷极”特性(即通道能量转换的热能小,才可保持火花放电来不及传至电极纵深),使通道能量作用于极小范围。通道能量的作用,可使电极局部被腐蚀。

电火花加工又称放电加工(electrical discharge machining, EDM),是一种直接利用电能和热能进行加工的新工艺。电火花加工与金属切削加工的原理完全不同,在加工过程中,工具和工件并不接触,而是靠工具和工件之间不断的脉冲性火花放电,产生局部、瞬时的高温把金属材料逐步熔化和气化蚀除掉。由于放电过程中可见到火花,故国内称为电火花加工,日本、英国、美国称为放电加工,俄罗斯称为电蚀加工。目前这一工艺技术已广泛用于加工淬火钢、不锈钢、模具钢、硬质合金等难加工材料,用于加工模具等具有复杂表面的零部件,在民用和国防工业中获得越来越多的应用,已成为切削加工的重要补充和发展。

2.1 电火花加工的基本原理及其分类

2.1.1 电火花加工的原理及必要条件

电火花加工是在一定介质中,利用基于正、负电极间脉冲放电时的电腐蚀现象对材料进行加工,以使零件的尺寸、形状和表面质量达到预定要求的加工方法,又称为放电加工、电蚀加工、电脉冲加工等,是一种利用电、热能进行加工的方法,是从 20 世纪 40 年代开始研究并逐步应用到生产中的。

早在 19 世纪初,人们就发现,插头或电器开关触点在闭合或断开时,会出现明亮的蓝白色的火花,因而烧损接触部位。人们在研究如何延长电器触头使用寿命过程中,认识了产生电腐蚀的原因,掌握了放电腐蚀的规律。原苏联的学者拉扎连柯夫妇在研究电腐蚀现象的基础上,首次将电腐蚀原理运用到了生产制造领域。电器触点电腐蚀后的形貌是随机的,没有确定的尺寸和公差。要使电腐蚀原理用于导电材料的尺寸加工,必须解决如下几个问题:

(1) 电极之间始终保持确定的距离(通常为几微米至几百微米)。因为电火花的发生是由于电极间的介质被击穿;在电压、介质状态等条件不变的情况下,击穿直接决定于极间距离,只有极间距离稳定,才能获得连续稳定的放电。

(2) 放电点的局部区域达到足够高的电流密度(一般为 $10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$)。这样,放电时所产生的热量才能确保被加工材料表面局部瞬时熔化、气化,否则只能加热被加工材料。

(3) 必须是脉冲性的放电(脉宽 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ s}$,脉间不小于 $10 \mu\text{s}$)。放电时间短才能确保放电所产生的热量来不及扩散到被加工材料内部而集中在局部,使局部的材料产生熔化、气化而被蚀除;否则,像持续电弧放电那样,使表面烧伤而无法用作尺寸加工。

(4) 火花放电必须在有一定绝缘性能的液体介质中进行,如煤油、皂化液等工作液,它们必须具有较高的绝缘强度($10^3 \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$),以利于产生脉冲性的火花放电。同时必须及时排除电极间的电蚀产物(加工过程中产生的金属小屑、炭黑等),以确保电极间介电性能的稳定;否则,电蚀产物将充塞在电极间形成短路,无法正常加工。

解决上述问题的办法是:使用脉冲电源和放电间隙自动进给控制系统,在具有一定绝缘强度和一定黏度的电介质中进行放电加工。

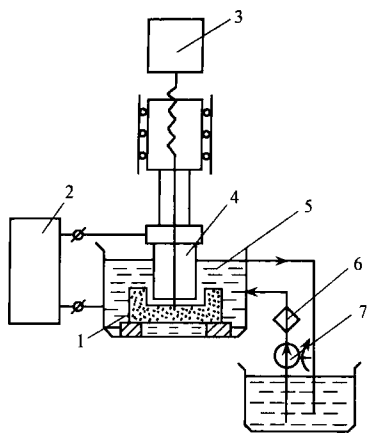


图 2-1 电火花加工原理图

1-工件;2-脉冲电源;3-自动进给调节装置;
4-工具;5-工作液;6-过滤器;7-工作液泵

图 2-1 所示为电火花加工系统。工件 1 与工具 4 分别与脉冲电源 2 的两输出端相连接。自动进给调节装置 3(此处为电动机及丝杆螺母机构)使工具和工件间经常保持一个很小的放电间隙,当脉冲电压加到两极之间时,便在当时条件下相对某一间隙最小处或绝缘强度最低处击穿介质,在该局部产生火花放电,瞬时高温使工具和工件表面都蚀除掉一小部分金属,各自形成一个小凹坑,如图 2-2 所示。其中,图 2-2(a)表示单个脉冲放电后的电蚀坑,图 2-2(b)表示多次脉冲放电后的电极表面。脉冲放电结束后,经过一段间隔时间(即脉冲间隔 t_0),使工作液恢复绝缘后,第二个脉冲电压又加到两极上,又会在当时极间距离相对最近或绝缘强度最弱处

击穿放电,又电蚀出一个小凹坑。这样以相当高的频率,连续不断地重复放电,工具电极不断地向工件进给,就可将工具的形状反向复制在工件上,加工出所需要的零件。整个加工表面是由无数个小凹坑所组成的。

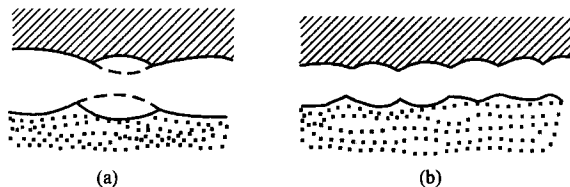


图 2-2 电火花加工表面局部放大图

2.1.2 电火花加工的特点及应用

1. 电火花加工的主要优点

(1) 适合于难切削材料的加工。由于加工中材料的去除是靠放电时的电热作用实现的,材料的可加工性主要取决于材料的导电性及其热学特性,如熔点、沸点、比热容、热导率、电阻率等,而几乎与其力学性能(硬度、强度等)无关。这样可以突破传统切削加工对刀具的限制,可以实现用软的工具加工硬韧的工件,甚至可以加工像聚晶金刚石、立方氮化硼一类的超硬材料。目前电极材料多采用纯铜(俗称紫铜)或石墨,因此工具电极较容易加工。

(2) 可以加工特殊及复杂形状的零件。由于加工中工具电极和工件不直接接触,没有机械加工宏观的切削力,因此适宜加工低刚度工件及微细加工。由于可以简单地将工具电极的形状复制到工件上,因此特别适用于复杂表面形状工件的加工,如复杂型腔模具加工等。数控技术的采用使得用简单的电极加工复杂形状零件也成为可能。

2. 电火花加工的局限性

(1) 主要用于加工铜等导电材料,但在一定条件下也可以加工半导体和非导体材料。

(2) 一般加工速度较慢。因此通常安排工艺时多采用切削来去除大部分余量,然后再进行电火花加工以求提高生产率。但最近新的研究成果表明,采用特殊水基不燃性工作液进行电火花加工,其生产率甚至可不亚于切削加工。

(3) 存在电极损耗。由于电极损耗多集中在尖角或底面,影响成形精度。但近年来粗加工时已能将电极相对损耗比降至 0.1% 以下,甚至更小。

由于电火花加工具有许多传统切削加工所无法比拟的优点,因此其应用领域日益扩大,目前已广泛应用于机械(特别是模具制造)、宇航、航空、电子、电气、仪器仪表、汽车、拖拉机、轻工等行业,以解决难加工材料及复杂形状零件的加工问题。加工范围已达到小至几微米的小轴、孔、缝,大到几米的超大型模具零件。

2.1.3 电火花加工工艺方法分类

按工具电极和工件相对运动的方式和用途的不同,大致可分为电火花穿孔成形加工、电火花线切割加工、电火花内孔、外圆和成形磨削加工、电火花同步共轭回转加工、电火花高速小孔加工、电火花表面强化与刻字六大类。前五类属于电火花成形、尺寸加工方法,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。以上以电火花穿孔成形加工和电火花线切割应用最为广泛。总的分类情况及各类加工方法的主要特点和用途见表 2-1。

表 2-1 电火花加工工艺分类

类别	工艺方法	特点	用途	备注
1	电火花穿孔成形加工	工具和工件间主要只有一个相对的伺服进给运动; 工具为成形电极,与被加工表面有相同的截面和相应的形状	穿孔加工;加工各种冲模、挤压模、粉末冶金模、各种异型孔及微孔等; 型腔加工;加工各类型腔模以及各种复杂的型腔零件	约占电火花机床总数的30%,典型机床有 D715、D7140 等电火花穿孔成形机床
2	电火花线切割加工	工具电极为顺电极丝轴线方向移动着的线状电极; 工具与工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动	切割各种冲模和具有直纹面的零件; 下料、截割和窄缝加工	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
3	电火花内孔、孔、外圆和成形磨削	工具与工件有相对的旋转运动; 工具和工件间有径向和轴向的进给运动	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; 加工外圈、小模数滚刀等	约占电火花机床总数的3%,典型机床有 D6310 电火花小孔内圈磨床等
4	电火花同步共轭回转加工	成形工具与工件均做旋转运动,但二者角速度相等或成整数倍,相对应接近的放电点可有切向相对运动速度; 工具相对工件可做纵、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,加工各种复杂型面的零件,如高精度的异形齿轮、精密螺纹环规,高精度、高对称度、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不足1%,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	采用细管(外径 0.3~3mm)电极,管内冲入高压水基工作液; 细管电极旋转穿孔速度很高(30~60mm/min)	线切割穿丝预孔; 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 D703A 电火花高速小孔加工机床
6	电火花表面强化与刻字	工具在工件表面振动,在空气中放火花; 工具相对工件移动	模具刃口、刀、量具刃口表面强化和镀覆; 电火花刻字、打印记	约占电火花机床总数的1%~2%,典型设备有 D9105 电火花强化机等