



高等学校
现代工程技术训练
系列教材

特种加工技术

赵万生 主编

XIDONGGONGHEJISHU



高等教育出版社

1/a

76766
Z47

高等学校现代工程技术训练系列教材

特种加工技术

赵万生 主 编
张学政 副主编
傅水根 系列教材策划

高等教育出版社

内容简介

本书讲述现代制造工程技术中除常规切削加工以外的特种加工新技术,包括电火花加工技术、数控电火花线切割加工技术、电化学加工技术、超声波加工技术、激光加工技术、化学加工技术及电子束和离子束加工技术等。对每种特种加工技术,讲述其基本加工原理和规律、基本设备、工艺特点和分类,以及适用范围,并举其生产应用实例和典型的工程训练实例。

本书取材丰富,图文并茂,由浅入深,说理清楚。既有一定的理论深度,又有丰富的生产实践内容,具有较好的工程可训练性。

本书为高等学校现代工程技术训练系列教材之一,也可作为高职高专师生以及面向社会有关特种加工技术的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术/赵万生主编. —北京:高等教育出版社,
2001.7

高等学校现代工程技术训练系列教材

ISBN 7-04-009619-6

I. 特… II. 赵… 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(2001)第 031210 号

特种加工技术

赵万生 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

电 话 010-64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

邮 政 编 码 100009

传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 8.5

字 数 200 000

版 次 2001 年 6 月第 1 版

印 次 2001 年 6 月第 1 次印刷

定 价 7.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

特种加工是指除常规切削加工以外的新的加工方法。由于特种加工主要不是依靠机械能和切削力进行加工,因而可以用软的工具(甚至不用工具)加工硬的工件,可以用来加工常规切削加工很难甚至无法加工的各种难加工材料、复杂表面、微细结构和某些有精密、特殊要求的零部件。特种加工已成为常规加工的重要补充和发展方向之一。

各种特种加工方法在生产中已日益获得广泛的应用。以电火花加工和数控线切割加工等电加工工艺和机床为例,已普及到乡镇工业和家庭作坊式个体企业。电加工机床年产量的平均增长率无论在国内或国外,都大大高于金属切削机床的增长率。为了适应特种加工技术的迅速发展和扩大应用的需要,我国有愈来愈多的工科院校陆续开设“特种加工课程”,加强特种加工的工程技术训练工作,社会上也经常举办有关特种加工的短训班,本书就是在此社会需求下编写的,以期能符合知识更新,更好地满足教学、科研和生产发展的需要。

本书内容主要包含电火花加工技术、数控电火花线切割加工技术、电化学加工技术、超声波加工技术、激光加工技术、化学加工技术以及电子束加工和离子束加工技术等特种加工方法,讲述其基本加工原理、基本设备、工艺特点和适用范围,并例举其生产应用实例和典型的工程培训实例,力求深入浅出,强调实用性和可训练性。

本书由哈尔滨工业大学赵万生任主编,清华大学张学政任副主编。参加编写的人员有哈尔滨工业大学郭永丰(第1章和第4章)、刘华(第2章),清华大学王坦(第3章)、洪亮(第5章)、李生录(第6章),哈尔滨工业大学王振龙(第7章和第8章)。本书由哈尔滨工业大学刘晋春教授主审,天津大学陈金水教授参加了本书的审稿工作。

本书是现代工程技术训练系列教材之一,全套系列教材共六册,分别为:《特种加工技术》、《数控加工技术》、《快速原型制造技术》、《先进制造系统和管理系统》、《质量检测与控制》、《材料的先进成形技术》。全套系列教材由高等教育出版社与清华大学傅水根教授共同策划,傅水根教授对每本书的编写思路和内容均进行了仔细审阅,从整体上控制全套书的风格。

本书可作为高等工科院校本科生现代工程技术训练中特种加工技术课程的训练教材,也可作为高职高专、中等职业技术学校相应专业学生,或企业职工的训练教材。此外,对电火花加工和数控线切割加工以及从事其他特种加工的人员也有参考作用。

由于编写时间紧迫和水平所限,书中定有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2001年1月

第 1 章 概 论

1.1 特种加工的产生及发展

传统的机械加工已有很久的历史,它对人类的生产和物质文明起了极大的作用。例如 18 世纪 70 年代就发明了蒸汽机,但善于制造不出高精度的蒸汽机汽缸,无法推广应用。直到有人创造出和改进了汽缸镗床,解决了蒸汽机主要部件的加工工艺,才使蒸汽机获得广泛应用,引起了世界性的第一次产业革命。这一事实充分说明了加工方法对新产品的研制、推广和社会经济的发展等起着多么重大的作用。随着新材料、新结构的不断出现,情况将更是这样。

但是从第一次产业革命以来,一直到第二次世界大战以前,长达 150 多年都靠机械切削加工(包括磨削加工)的漫长年代里,并没有产生对特种加工的迫切要求,也没有发展特种加工的充分条件,人们的思想一直还局限在 18 世纪以来传统的用机械能量和切削力来除去多余的金属,以达到加工要求。

直到 1943 年,苏联拉扎连柯夫妇研究电器开关触点遭受火花放电腐蚀损坏的现象和原因,发现电火花的瞬时高温可使局部的金属熔化、气化而被蚀除掉,发明了电火花加工方法,用铜丝在淬硬钢上加工出小孔,可用软的工具加工任何硬度的金属材料,首次摆脱了传统的切削加工方法,直接利用电能和热能来去除金属,获得“以柔克刚”的效果。

第二次世界大战后,特别是进入 50 年代以来,随着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向高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化等方向发展,所用的材料愈来愈难加工,零件形状愈来愈复杂,精度、表面粗糙度和某些特殊要求也愈来愈高,对机械制造部门提出了下列新的要求:

(1) 解决各种难切削材料的加工问题 如硬质合金、钛合金、耐热钢、不锈钢、淬硬钢、金刚石、宝石、石英以及锆、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) 解决各种特殊复杂表面的加工问题 如喷气涡轮机叶片、整体涡轮、发动机机匣和锻压模和注射模的立体成型表面,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) 解决各种超精、光整或具有特殊要求的零件的加工问题 如对表面质量和精度要求很高的航天航空陀螺仪、伺服阀,以及细长轴、薄壁零件、弹性元件等低刚度零件的加工。

要解决上述一系列工艺问题,仅仅依靠传统的切削加工方法就很难实现,甚至根本无法实现,人们相继探索研究新的加工方法,特种加工就是在这种前提条件下产生和发展起来的。但是,特种加工所以能产生和发展,在于它具有常规切削加工所不具有的本质和特点。

切削加工的本质和特点:一是靠刀具材料比工件更硬;二是靠机械能把工件上多余的材料切除。一般情况下这是行之有效的方法。但是,当工件材料愈来愈硬,零件结构愈来愈复杂的情况

下,原来行之有效的方法转化为限制生产率和影响加工质量的不利因素。于是人们开始探索用软的工具加工硬的材料,不仅用机械能而且还采用电、化学、光、声等能量来进行加工。到目前为止,已经找到了多种加工方法,为区别于现有的金属切削加工,这类新加工方法统称为特种加工,国外称作非传统加工(Non-Traditional Machining,NTM)或非常规机械加工(Non-Conventional Machining,NCM)。它们与常规切削加工的不同点亦即特种加工的特点是:

- 1) 不是主要依靠机械能,而是主要用其他能量(如电、化学、光、声、热等)去除金属材料;
- 2) 工具硬度可以低于被加工材料的硬度;
- 3) 加工过程中工具和工件之间不存在显著的机械切削力。

正因为特种加工工艺具有上述特点,所以就总体而言,特种加工可以加工任何硬度、强度、韧性、脆性的金属或非金属材料,且专长于加工复杂、微细表面和低刚度零件,同时,有些方法还可用于进行超精加工、镜面光整加工和纳米级(原子级)加工。

1.2 特种加工的分类和综合比较

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 常用特种加工方法分类表

特种加工方法		能量来源及形式	加工原理	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(ECG)
	电解研磨	电化学能、机械能	阳极溶解、研磨	ECH
	电铸	电化学能	金属离子阴极沉积	EFM
	电镀	电化学能	金属离子阴极沉积	EPM
激光加工	激光切割、打孔	光能、热能	熔化、气化	LBM
	激光打标	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
超声波加工	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	光能、化学能	光化学腐蚀	PCM

在发展过程中也形成了某些介于常规机械加工和特种加工工艺之间的过渡性工艺。例如在

切削过程中引入超声振动或低频振动切削,在切削过程中通以低电压大电流的导电切削、加热切削以及低温切削等。这些加工方法是在切削加工的基础上发展起来的,目的是改善切削的条件,基本上还属于切削加工。

在特种加工范围内还有一些属于减小表面粗糙度值或改善表面性能的工艺,前者如电解抛光、化学抛光、离子束抛光等,后者如电火花表面强化、镀覆、刻字、激光表面处理、改性、电子束曝光和离子束注入掺杂等。

随着半导体大规模集成电路生产发展的需要,上述提到的电子束、离子束加工,逐渐演变成近年来提出的纳米级超精微加工,即所谓原子、分子单位的加工方法。

表 1.2 为上述特种加工方法的综合比较。

表 1.2 几种常用特种加工方法的综合比较

加工方法	可加工材料	工具损耗率 % (最低/平均)	材料去除率 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (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
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	30/3 000	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、异形孔、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 ^① mm^2/min	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、磁钢、硅钢片冲片。也常用于钨、钨、半导体材料或贵重金属的切割
电解加工		不损耗	100/10 000	0.1/0.01	1.25/0.16	从细小零件到 1 t 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		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
超声波加工		任何脆性的材料	0.1/10	1/50	0.03/0.005	0.63/0.16

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 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (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 ^② 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、曝光以及焊接等,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 ^②	/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

① 线切割加工的金属去除率按惯例均以 mm^2/min 为单位。

② 这类工艺主要用于精微和超精微加工,不能单纯比较材料去除率。

1.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性等的影响

由于上述各种特种加工工艺的特点以及逐渐广泛的应用,引起了机械制造工艺技术领域内的许多变革,例如对材料的可加工性、工艺路线的安排、新产品的试制过程、产品零件的结构设计、零件结构工艺性好坏的衡量标准等产生一系列的影响。

1) 提高了材料的可加工性。以往认为金刚石、硬质合金、淬硬钢、石英、玻璃、陶瓷等是很难加工的。现在已经广泛采用的由金刚石、聚晶(人造)金刚石制造的刀具、工具、拉丝模具,可以用电火花、电解、激光等多种方法来加工。材料的可加工性不再与硬度、强度、韧性、脆性等成直接、反比关系,对电火花、线切割加工而言,淬硬钢比未淬硬钢更易加工。

2) 改变了零件的典型工艺路线。以往除磨削外,其他切削加工、成形加工等都必须安排在淬火热处理工序之前,这是一切工艺人员决不可违反的工艺准则。特种加工的出现,改变了这种一成不变的程序格式。由于它基本上不受工件硬度的影响,而且为了免除加工后再引起淬火热处理变形,一般都先淬火而后加工。最为典型的是电火花线切割加工、电火花成形加工和电解加工等都必须先淬火,后加工。

特种加工的出现还对工序的“分散”和“集中”产生了影响。以加工齿轮、连杆等型腔锻模为例,由于特种加工时没有显著的切削力,机床、夹具、工具的强度、刚度不是主要矛盾。因此,即使是较大的、复杂的加工表面,往往宁可用一个复杂工具、简单的运动轨迹、一次安装、一道工序加工出来,这样做工序比较集中。

3) 试制新产品时,采用光电和数控电火花线切割,可以直接加工出各种标准和非标准直齿

轮(包括非圆齿轮、非渐开线齿轮),微电机定子,转子硅钢片,各种变压器铁心,各种特殊、复杂的二次曲面体零件。这样可以省去设计和制造相应的刀、夹、量具,模具以及二次工具,大大缩短了试制周期。

4) 特种加工对产品零件的结构设计带来很大的影响。例如,花键孔、轴,枪炮膛线的齿根部分,从设计观点为了减少应力集中,最好做成小圆角,但拉削加工时刀齿做成圆角对排屑不利,容易磨损,所以刀齿只能设计与制造成清棱清角的齿根,而用电解加工时由于存在尖角变圆现象,可加工出小圆角的齿根。又如各种复杂冲模如山形硅钢片冲模,过去由于不易制造,往往采用拼镶结构,采用电火花、线切割加工后,即使是硬质合金的模具或刀具,也可做成整体结构。喷气发动机涡轮也由于电加工而可采用整体结构。

5) 对传统的结构工艺性的好与坏需要重新衡量。过去认为盲孔、方孔、小孔、窄缝等是工艺性很“坏”的典型,工艺、设计人员非常“忌讳”,有的甚至认为是“禁区”。特种加工的采用改变了这种现象。而且,对于电火花穿孔和电火花线切割工艺来说,加工方孔和加工圆孔的难易程度是一样的。喷油嘴小孔,喷丝头小异形孔,涡轮叶片大量的小冷却深孔,窄缝,静压轴承、静压导轨的内油囊型腔,采用电加工后则变难为易。过去淬火前忘了钻定位销孔、铣槽等工艺,淬火后这种工件只能报废,现在则可用电火花打孔、切槽进行补救。相反有时为了避免淬火开裂、变形等影响,故意把钻孔、开槽等工艺安排在淬火之后,这在不了解特种加工的审查人员看来,将认为是工艺、设计人员的“过错”,其实是他们没有及时进行知识更新,不了解特种加工的产生和发展使这种工艺安排已经成为可能。

第 2 章 电火花加工技术

电火花加工又称放电加工(Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 是一种利用电、热能量进行加工的方法, 在 20 世纪 40 年代开始研究并逐步应用于生产。它是在加工过程中, 使工具和工件之间不断产生脉冲性的火花放电, 靠放电时局部、瞬时产生的高温把金属蚀除下来。因放电过程可见到火花, 故称之为电火花加工, 日、英、美称之为放电加工, 苏联称电蚀加工。

2.1 电火花加工的基本原理、特点、分类及适用范围

2.1.1 电火花加工的原理

电火花加工是基于在绝缘的工作液中工具和工件(正、负电极)之间脉冲性火花放电局部、瞬时产生的高温, 使工件表面的金属熔化、气化、抛离工件表面的原理。利用这一电腐蚀现象来蚀除多余的金属, 以达到对零件的尺寸、形状及表面质量预定的加工要求。电腐蚀现象早在 19 世纪初就被人们发现了, 例如在电插头或电器开关触点开、闭时, 往往产生火花而把接触表面烧毛、腐蚀成粗糙不平的凹坑而逐渐损坏。长期以来电腐蚀一直被认为是一种有害的现象, 人们不断地研究电腐蚀的原因并设法减轻和避免它。

研究表明, 电火花腐蚀的主要原因是: 电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热, 足使任何金属材料局部熔化、气化而被蚀除掉, 形成放电凹坑。这样, 人们在研究抗腐蚀办法的同时, 开始研究利用电腐蚀现象对金属材料进行尺寸加工。要达到这一目的, 必须创造条件, 解决下列问题:

1) 必须使工具电极和工件被加工表面之间保持一定的放电间隙。这一间隙随加工条件而定, 通常约为几微米至几百微米。如果间隙过大, 极间电压不能击穿极间介质, 因而不会产生火花放电。如果间隙过小, 很容易形成短路接触, 同样也不能产生火花放电。为此, 在电火花加工过程中必须具有工具电极的自动进给和调节装置。

2) 火花放电必须是瞬时的脉冲性放电, 放电延续一段时间后, 需停歇一段时间, 放电延续时间一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ s。这样才能使放电所产生的热量来不及传导扩散到其余部分, 把每一次的放电点分别局限在很小的范围内, 否则, 象持续电弧放电那样, 使表面烧伤而无法用作尺寸加工。为此, 电火花加工必须采用脉冲电源。图 2.1 为脉冲电源的电压波形, 图中 t_i 为脉冲宽度, t_o 为脉冲间隔, t_p 为脉冲周期, \hat{u}_i 为脉冲峰值电压或空载电压。

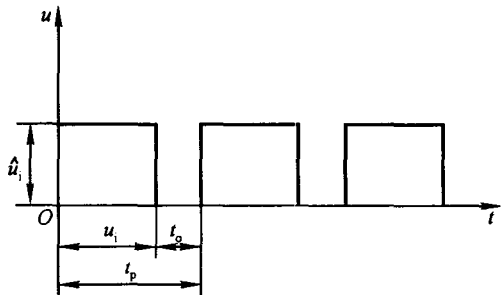


图 2.1 脉冲电源电压波形

3) 火花放电必须在有一定绝缘性能的液体介质中进行,例如煤油、皂化液或去离子水等。液体介质又称工作液,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,液体介质还能把电火花加工过程中产生的金属小屑、碳黑等电蚀产物在放电间隙中悬浮排除出去,并且对电极和工件表面有较好的冷却作用。

以上这些问题的综合解决是通过图 2.2 所示的电火花加工系统来实现的。工件 1 与工具 4 分别与脉冲电源 2 的两输出端相联接。自动进给调节装置 3(此处为电动机及丝杠螺母机构)使工具和工件间经常保持一很小的放电间隙,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 2.3 所示。其中图 2.3a 表示单个脉冲放电后的电蚀坑,图 2.3b 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。这样随着相当高的频率,连续不断地重复放电,工具电极不断地向工件进给,就可将工具的形状复制在工件上,加工出所需要的零件,整个加工表面将由无数个小凹坑所组成。

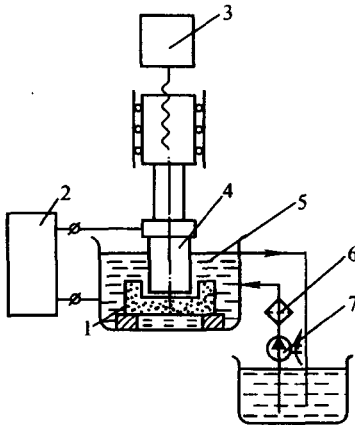


图 2.2 电火花加工原理示意图

- 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

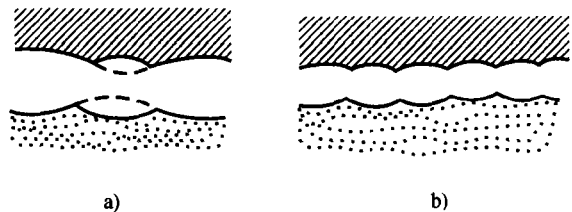


图 2.3 电火花加工表面局部放大图

2.1.2 电火花加工的特点

1. 是不接触加工

工具电极和工件之间并不直接接触而有一个火花放电间隙($0.1 \sim 0.01 \text{ mm}$),间隙中充满煤油工作液。

2. 加工过程中没有宏观切削力

火花放电时,局部、瞬时爆炸力的平均值很小,不足以引起工件的变形和位移。

3. 可以“以柔克刚”

由于电火花加工直接利用电能和热能来去除金属材料,与工件材料的强度和硬度等关系不

大,因此可以用软的工具电极加工硬的工件,实现“以柔克刚”。

2.1.3 电火花加工的分类

电火花加工方法的分类见表 2.1。

表 2.1 电火花加工方法的分类

类别	加工方法	特 点	用 途	备 注
I	电火花穿孔成形加工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工具和工件间只有一个相对的伺服进给运动 2. 工具为成形电极,与被加工表面有相应的截面或形状 	<ol style="list-style-type: none"> 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 等电火花成形机床
II	电火花线切割加工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工具电极为顺电极丝轴线移动着的线电极 2. 工具与工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 切割各种冲模和具有直线条的零件 2. 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 DK6725、DK6732 数控电火花线切割机床
III	电火花内孔、外圆和成形磨削	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加工高精度、良好表面粗糙度的小孔,如拉丝模、挤压模、微型轴承内环、偏心钻套等 2. 加工外圆、小模数滚刀等 	约占电火花机床总数的 3%~4%,典型机床有 D6310 电火花小孔内圆磨床等
IV	电火花同步共轭回转加工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成形工具与工件均作旋转运动,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 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、良好表面粗糙度的内、外回转体表面等	约占电火花机床总数的 1%,典型机床有 JN-2、JN-8 内外螺纹加工机床
V	电火花高速小孔加工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用细管($> \phi 0.3$ mm)电极,管内冲入高压水基工作液 2. 细管电极旋转 3. 穿孔速度极高(60 mm/min) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 线切割穿丝预孔 2. 深径比很大的小孔,如喷嘴等 	约占电火花机床 1%,典型机床有 D703A 电火花高速小孔加工机床
VI	电火花表面强化、刻字	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工具在工件表面上振动 2. 工具相对工件移动 3. 在空气中加工 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模具刃口、刀、量具刃口表面强化和镀膜 2. 电火花刻字、打印记 	约占电火花机床总数的 2%~3%,典型机床有 D9105 电火花强化机等

2.1.4 电火花加工的适用范围

1) 可以加工任何难加工的金属材料 and 导电材料。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、导热系数、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紫铜或石墨,因此工具电极较容易加工。

2) 可以加工形状复杂的表面。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成为可能。

3) 可以加工薄壁、弹性、低刚度、微细小孔、异形小孔、深小孔等有特殊要求的零件。由于加工中工具电极和工件不直接接触,没有机械加工的切削力,因此适宜加工低刚度工件及微细加工,目前已能加工出 0.005 mm 的短微细轴和 0.008 mm 的浅微细孔,以及直径小于 1 mm 的齿轮。在小深孔方面,已加工出直径 0.8~1 mm、深 500 mm 的小孔,也可以加工圆弧形的弯孔。

2.2 电火花加工典型机床及其组成部分

2.2.1 国产电火花穿孔、成形加工机床的型号规格

1985 年起国家把电火花穿孔、成形加工机床定名为 D71 系列,其型号表示方法如下:

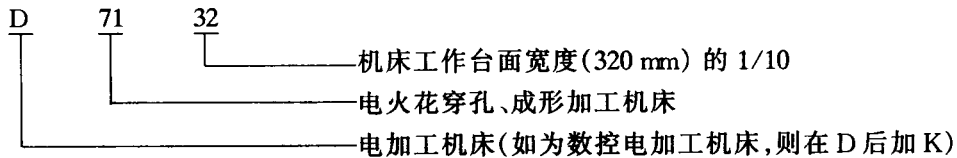


表 2.2 为我国电火花穿孔、成形加工机床的参数标准。

表 2.2 电火花穿孔、成形加工机床主参数标准(GB/T 5290—1985)

工 作 台	台 面	宽度 B	mm	200	250	320	400	500	630	800	1 000	
		长度 A		320	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	
	行 程	纵向 X		160		250		400		630		
		横向 Y		200		320		500		800		
	最大承载质量/kg			50	100	200	400	800	1 500	3 000	6 000	
	T 形槽	槽 数		3		5				7		
		槽 宽		10		12		14		18		
		槽间距离		63			80	100	125			
	主轴联接板至工作台面最大距离 H			300	400	500	600	700	800	900	1 000	
	主 轴 头	伺服行程 Z		80	100	125	150	180	200	250	300	
滑座行程 W		150	200	250	300	350	400	450	500			
工 具 电 极	最大质量 kg	I 型	20		50		100		250			
		II 型	25		100		200		500			
工作液槽内壁		长度 d	mm	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	
		宽度 c		300	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	
		高度 h		200	250	320	400	500	630	800	1 000	

电火花穿孔、成形加工机床按其大小可分为小型(D7125 以下)、中型(D7125~D7163)和大型(D7163 以上);也可按数控程度分为非数控、单轴数控和三轴数控型;也可按精度等级分为标准精度型和高精度型;也可按工具电极的伺服进给系统的类型分为液压进给、步进电机进给、直流或交流伺服电机进给驱动等类型。随着模具工业的需要,国外已经大批生产微机三坐标数字控制的电火花加工机床,以及带工具电极库、能按程序自动更换电极的电火花加工中心。我国汉川机床公司、北京市电加工研究所、苏州电加工机床研究所和北京阿奇工业电子公司等,以及少数中外合资企业也已研制、生产出三坐标微机数控电火花加工机床。

目前有些国产电火花机床的型号命名往往加上本厂厂名拼音代号及其他代号,如汉川机床公司加 HC、北京凝华实业公司加 NH 等,中外合资及外资厂的型号更不统一,采用其自定的型号系列表示方法,没有统一的规范。

典型的国产电火花加工机床设备为 D7140,它是工作台面宽为 400 mm 的中等尺寸电火花机床。如果是单轴(主轴)数控,则型号为 D7140ZK,如果是三轴(Z、X、Y)数控,则型号为 D7140K,有时在脉冲电源上也表明 NC(数控)型。

2.2.2 电火花加工机床的组成部分

图 2.4a 为最常见的电火花穿孔、成形加工机床。它包括主机、电源箱、工作液循环过滤系统,如果采用液压伺服进给系统,则还包含液压系统,共有三或四大部分。图 2.4b 为其外形图。

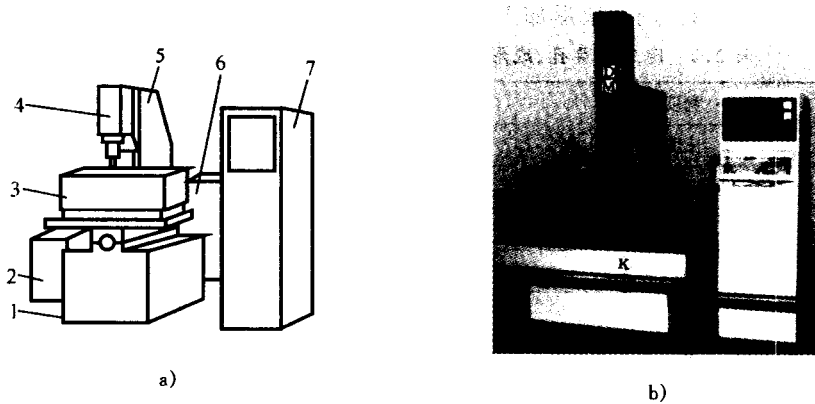


图 2.4 电火花穿孔、成形加工机床

1—床身;2—液压油箱;3—工作液槽;4—主轴头;5—立柱;6—工作液箱;7—电源箱

主机主要由床身、立柱、主轴头、工作台及润滑系统等组成,用于支承工具电极及工件,保证它们之间的相对位置,并实现电极在加工过程中稳定的进给运动。电源箱包括脉冲电源、自动进给控制系统和其他电气系统。工作液和液压系统均包括液压泵(油泵)、过滤器、各种控制阀、管道等。

1. 机床本体

它由床身 1 和立柱 2、主轴头 3、工作台 4 及其附件等组成,如图 2.5 所示。

(1) 床身和立柱

床身和立柱是一个基础结构,由它确保电极与工作台、工件之间的相互位置。其精度的高低对加工有直接的影响,如果机床的精度不高,加工精度也难以保证。因此,不但床身和立柱的结构应该合理,有较高的刚度,能承受主轴负重和运动部件突然加速运动的惯性力,还应能减小温度变化引起的变形,并经过时效处理消除内应力,使其日久不会变形。

(2) 工作台

工作台主要用来支承和装夹工件,它分上、下两层(上溜板和下溜板),见图 2.5。在实际加工中,通过转动纵横向丝杠来改变电极与工件的相对位置。工作台上还装有工作液槽,使电极和被加工件浸泡在工作液里,起到冷却、排屑作用。工作台是操作者在装夹找正时经常移动的部件,通过两个手轮来移动上下拖板,改变纵横向位置,达到电极与被加工件间所要求的相对位置。工作台可分为普通工作台和精密工作台。目前在国内已应用精密滚珠丝杠、滚动直线导轨和高性能伺服电机等结构,以满足精密模具的加工。全数控型电火花机床的工作台侧面已不再安装手轮。

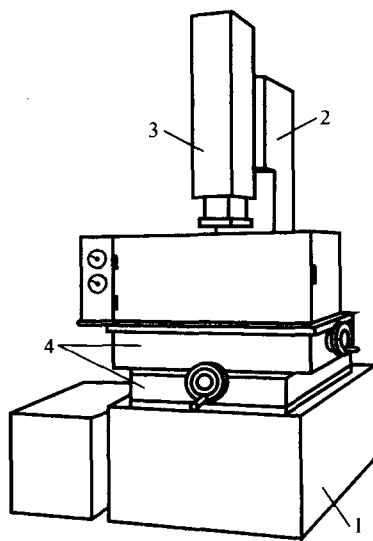


图 2.5 电火花加工机床本体

(3) 主轴头

主轴头是电火花穿孔、成形加工机床的一个关键部件,它的结构由伺服进给机构、导向和防扭机构、辅助机构三部分组成。它控制工件与工具电极之间的放电间隙。

主轴头的好坏直接影响加工的工艺指标,如生产率、几何精度以及表面粗糙度,因此主轴头应具备以下条件:① 有一定的轴向和侧向刚度及精度;② 有足够的进给和回升速度;③ 主轴运动的直线性和防扭转性能好;④ 灵敏度高,无爬行现象;⑤ 具备合理的承载电极质量的能力。

我国六七十年代曾广泛采用液压伺服进给的主轴头如 DYT-1 型、DYT-2 型,目前已普遍采用步进电机、直流电机或交流伺服电机作进给驱动的主轴头。主轴头移动位置的显示,初级的靠大量程百分表,中级的用数显表,高级的既有数显、又有数控功能。图 2.6 为用直流伺服电机驱动丝杠、用转速传感器作速度反馈和用光栅作位置反馈的主轴头系统的示意图。

因各单位采用的电火花加工机床的说明书中对床身、立柱、工作台、主轴头等都有详细说明,故此不作叙述。

(4) 主轴头和工作台的主要附件

1) 可调节工具电极角度的夹头

装夹在主轴下的工具电极,在加工前需要调节到与工件基准面垂直。在加工型孔或型腔时,还需在水平面内调节、转

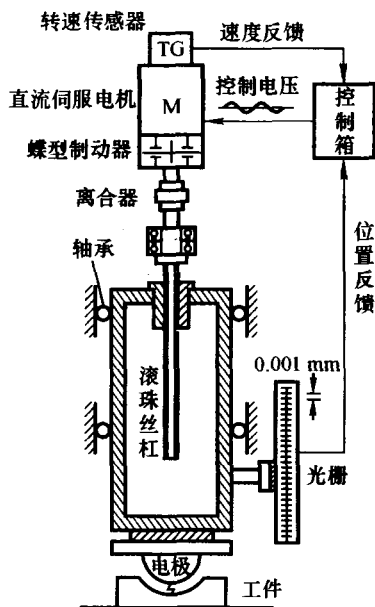


图 2.6 有速度和位置反馈的全闭环控制的主轴头

动一个角度,使工具电极的截面形状与加工出工件型孔或型腔预定的位置一致。前一垂直度调节功能,常用球面铰链来实现,后一转角调节功能,靠主轴与工具电极安装面的相对转动机构来调节。垂直度与水平转角调节正确后,都应用螺钉锁紧(见图 2.7)。此外,机床主轴、床身应联成一体接地,而装工具电极的夹持调节部分应单独绝缘,以防止操作人员触电。这种有绝缘结构的主轴头见图 2.8。

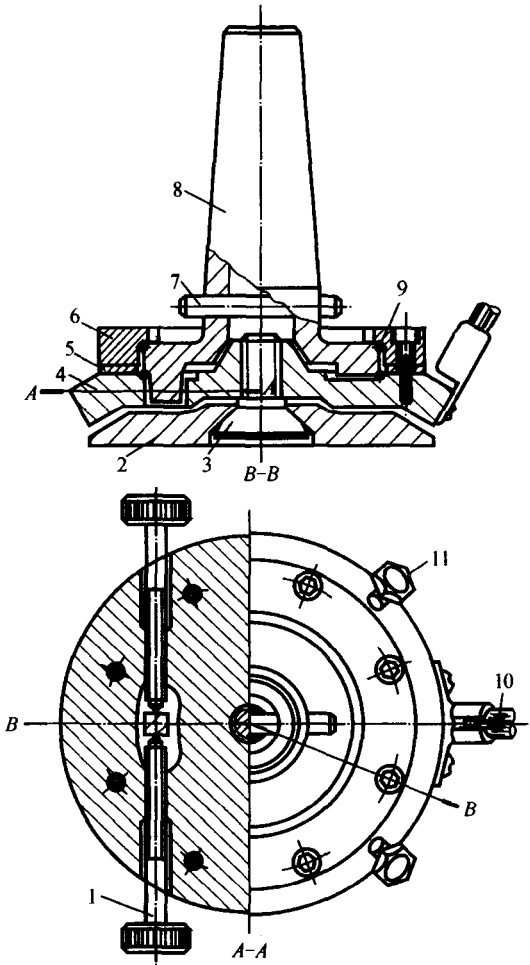


图 2.7 带垂直和水平转角调节装置的夹头

1—调节螺钉;2—摆动法兰盘;3—球面螺钉;4—调角校正架;5—调整垫;6—上压板;7—销钉;8—锥柄座;9—滚珠;10—电源线;11—垂直度调节螺钉

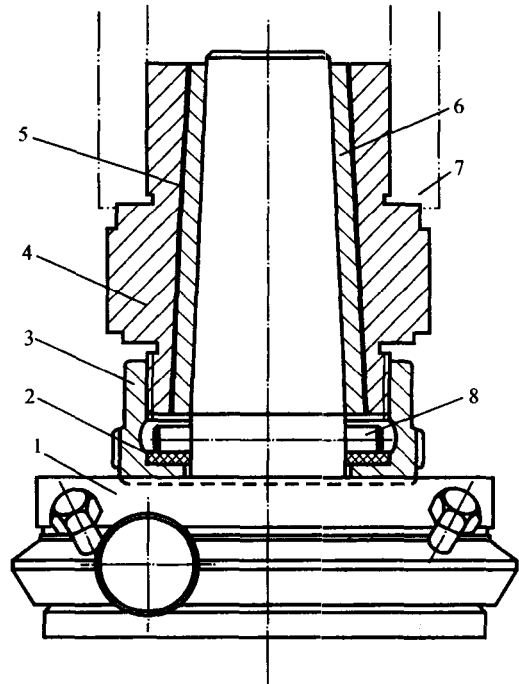


图 2.8 带有绝缘层的主轴锥孔

1—夹头;2—绝缘垫圈;3—紧固螺母;4—主轴端盖;5—环氧树脂绝缘层;6—锥套;7—方滑枕(主轴);8—固定销钉

2) 平动头

电火花加工时粗加工的火花间隙比半精加工的要大,而半精加工的火花间隙比精加工的又要大一些。当用一个电极进行粗加工,将工件的大部分余量蚀除掉后,其底面和侧壁四周的表面

粗糙度很差,为了将其修光,就得将规准逐挡进行修整。由于后挡规准的放电间隙比前挡小,对工件底面可通过主轴进给进行修光,而四周侧壁则无法修光。平动头就是为解决修光侧壁和提高其尺寸精度而设计的。

平动头是一个使装在其上的电极能产生向外机械补偿动作的工艺附件。它在电火花成形加工采用单电极加工型腔时,可以补偿上一个加工规准和下一个加工规准之间的放电间隙差和表面粗糙度值之差。

平动头的动作原理是:利用偏心机构将伺服电机的旋转运动通过平动轨迹保持机构,转化成电极上每一个质点都能围绕其原始位置在水平面内作平面小圆周运动,许多小圆的外包络线就形成加工表面,如图 2.9 所示。其运动半径 Δ 通过调节可由零逐步扩大,以补偿粗、半精、精加工的火花放电间隙 δ 之差,从而达到修光型腔的目的。其中每个质点运动轨迹的半径就称为平动量。

与一般电火花加工工艺相比较,采用平动头电火花加工有如下特点:

① 它可以通过改变轨迹半径来调整电极的作用尺寸,因此尺寸加工不再受放电间隙的限制。

② 用同一尺寸的工具电极,通过轨迹半径的改变,可以实现换规准修整,即采用一个电极就能由粗至精直接加工出一副型腔。

③ 在加工过程中,工具电极的轴线与工件的轴线相偏移,除了电极处于放电区域的部分外,工具电极与工件的间隙都大于放电间隙,实际上减小了同时放电的面积,这有利于电蚀产物的排除,提高加工稳定性。

④ 工具电极相对于工件移动,可使加工的表面粗糙度大大改善,特别是底平面处。

⑤ 由于有平动轨迹半径的存在,它无法加工有清角的型腔。只有采用数控平动头或数控工作台两轴或三轴联动进行摇动加工,才能加工出清棱清角的型孔和型腔。

平动头的操作方法:平动头一般分停车调节与不停车调节两大类型。停车调节的平动头操作时,要将主轴回升,切断电源,然后松开平动头的锁紧螺钉进行调节。不停车调节的平动头可在放电加工的同时进行调节。偏心量的调节最好要能微量调节,这一点在不停车调节的平动头中易于实现。

平动头的维修保养:不停车调节的平动头,其驱动电机带动的蜗杆副是外裸的,因此一定要用牛油或其他油脂进行润滑,并经常注意除尘保洁。平动头使用一段时期后,可用百分表校对 x 、 y 方向偏心量的大小,是否有差异。若差异较大,可将平动头拆开进行清洗加油,并调换磨损件。

除平动头外,加工小型零件还可采用振动头和旋转头等附件。近年来瑞典 3R 公司和瑞士 EROWA 公司研制生产了系列化的高精度电极通用夹头,其夹持的重复定位精度可达 $2\ \mu\text{m}$ 左右。

3) 油杯

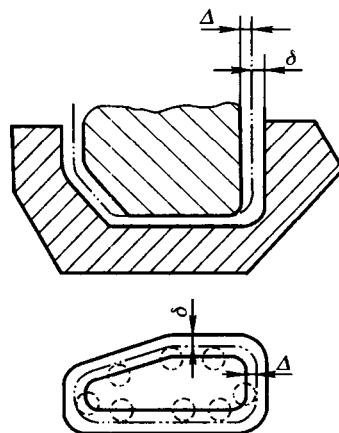


图 2.9 平动加工时电极的运动轨迹