

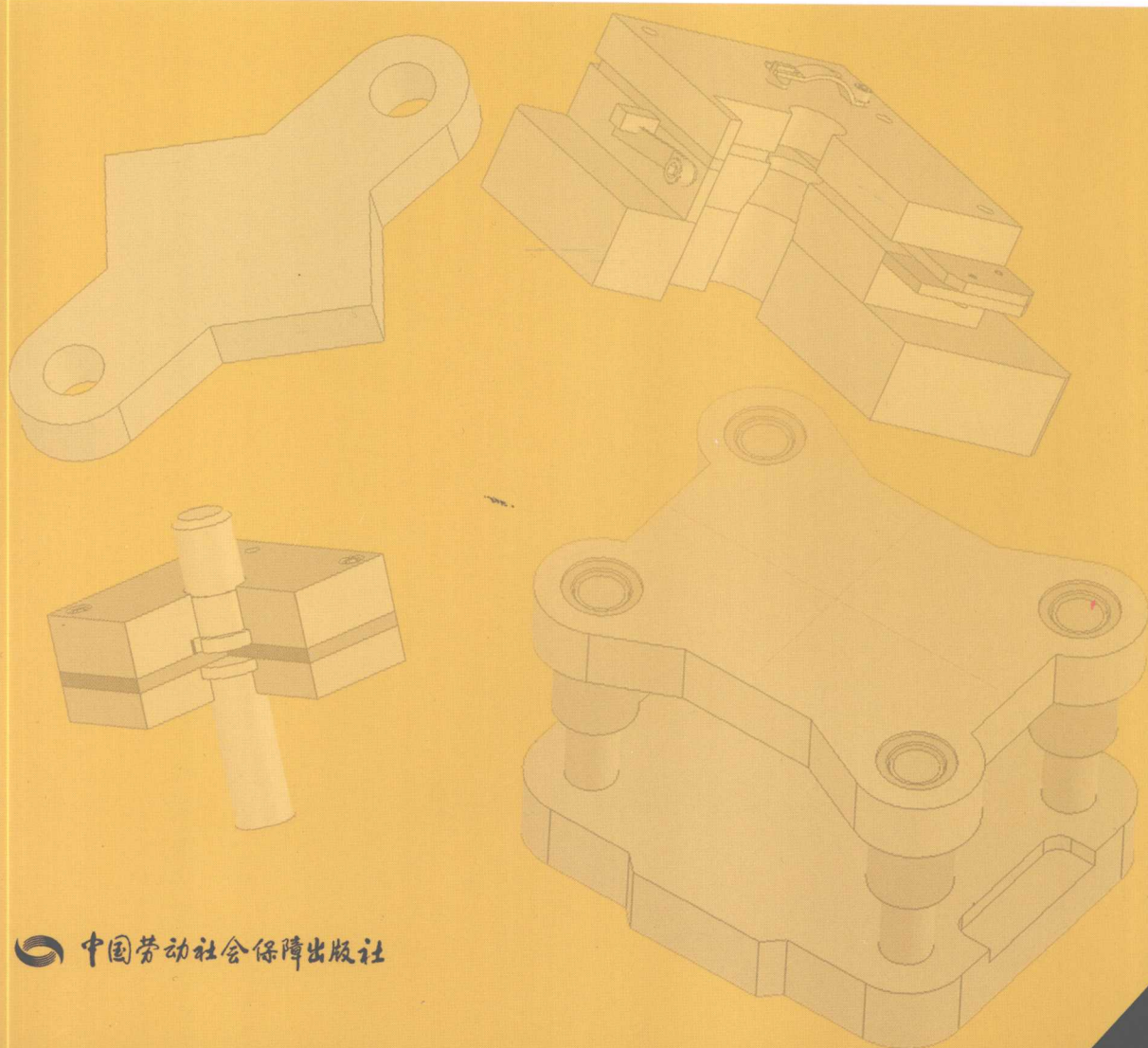


全国中等职业技术学校
模具制造与维修专业教材

MUJU

模具制造电切削加工技术

MUJU ZHIZAO DIANQIEXIAO JIAGONG JISHU



 中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校模具制造与维修专业教材



特别提示

模具制造电切削加工技术

劳动保障部教材办公室组织编写

5. 防触电保护

该产品所有带电元器件外露部分，除有防护罩保护之外，其内部均设有安全防护门。机床电气控制门上有防触电标志，电箱门打开时，会自动锁定的保护开关。只要电控箱的门打开，就会整机断电。

6. 短路保护

该产品除在电控箱电源电压输入处设置短路保护的熔断器外，各模块分电路均设有短路保护的熔断器。一旦发现产品在使用时无电，应逐级检查熔断器是否烧坏。



习题

一、填空题

1. 作为电切削加工时，应从两个方面考虑：一方面是____，另一方面是____。
2. 线切割加工时，要放在规定的容器内，防止混入电路和走丝系统中，造成电气短路和____等事故。
3. 机床____。
4. 一旦发生电气短路造成的火灾，应立即用____等灭火器材不准用____。
5. 校正器是一种校正电极____的精密附件，使用中应____、轻放。
6. 线切割加工时，____、湿度、振动、____。
7. 线切割加工时，____、定期更换磨损较严重的____。
8. 应经常检查____，行程开关和限位开关是否安全可靠，不允许____。
9. 交流稳压电源，要保证稳压电源的保护接地可靠，符合____。

中国劳动保障出版社

中国全行业职业技能鉴定教材模具制造与电加工

图书在版编目(CIP)数据

模具制造电切削加工技术/徐思平主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008
全国中等职业技术学校模具制造与维修专业教材
ISBN 978-7-5045-7054-3

I. 模… II. 徐… III. 模具-制造-电加工-金属切削-专业学校-教材 IV. TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 059100 号

北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京鑫正大印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10 印张 237 千字
2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

模具是现代工业生产的重要基础工艺装备,广泛应用于机械、汽车、轻工、电子、化工、冶金、建材等各个行业,模具制造技术已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志之一。在我国模具制造技术蓬勃发展的形势下,为了更好地满足中等职业技术学校模具制造与维修专业的教学要求,我们根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《模具制造与维修专业教学计划与教学大纲》,以及国家有关职业标准《装配钳工》《工具钳工》的要求,组织有关学校的职业教育研究人员、一线教师和行业专家,在广泛调研的基础上,开发了中等职业技术学校模具制造与维修专业系列教材。

本套教材包括:《模具结构》《模具材料热处理》《模具钳工工艺学》《模具钳工技能训练》《模具零件制造技术》《模具拆装调试与维护》《模具制造电切削加工技术》等。

在本套教材的编写过程中,我们始终坚持了以下几个原则:

在教材内容定位上,坚持以就业为导向、贴近企业的原则,重视对学生实际操作技能的培养。在删除繁冗理论知识的同时,编入大量企业生产的实例。同时,贯彻国家最新技术标准,反映新知识、新工艺、新技术、新方法,力求使传授给学生的知识和技能更贴近行业的发展实际。

在教材结构的构建上,坚持教学改革、为一体化教学服务的原则。本套教材中《模具钳工技能训练》《模具零件制造技术》《模具拆装调试与维护》均采用了任务驱动的先进编写理念,以典型零件的生产和装配为载体,构成一个个教学单元,有机融入理论知识和操作技能,使学生在完成岗位任务的情境中进行学习。每个教学单元的内容均按照循序渐进、层层深入的原则安排,既符合学生的认知规律,又将专业知识与技能紧密联系起来。

在教材的表现形式上,坚持生动直观、以学生为本的原则。本套教材对设备、工具等实物采用了大量照片和三维造型图,使学生易于认清模具结构、零件构造和工具特征,从而为学习铺平道路。另外,本套教材对重要工艺过程采用了分步解析图,辅以文字、符号标注,可显著提高技能训练教学效率并增进效果。

本套教材的编写得到江苏、广东、湖南、福建等省劳动保障厅和相关学校的大力支持,在此,我们致以诚挚的谢意。

《模具制造电切削加工技术》是为学校开展模具电加工教学而开发的专业课教材，主要内容包括：电火花加工基础知识、电火花成型加工规律、电火花成型加工机床的分类和结构、电火花成型加工在模具制造中的应用技术、电火花线切割加工机床的原理和结构、数控电火花线切割加工工艺、计算机辅助线切割编程方法、线切割加工模具应用实例、电切削加工机床的调整与维护知识等。本书的主要特色是：展现了先进的模具电加工技术；知识体系从原理、设备到工艺脉络清晰完整；“特别提示”栏目强调重点，“深入阅读”栏目为学有余力的学生提供了拓展平台。

《模具制造电切削加工技术》由徐思平主编，徐咏良担任副主编，王琳、陈海凡担任参编，黄存足担任主审。

言 前

劳动和社会保障部教材办公室

2008 年 3 月

《模具制造电切削加工技术》参考学时

章节内容	总学时	理论学时	练习学时
第一章 电火花加工概述	8	8	
第二章 电火花成形加工机床	8	8	
第三章 电火花成形加工在模具制造中的应用	64	8	56
第四章 电火花线切割加工机床	12	12	
第五章 数控电火花线切割加工工艺	10	10	
第六章 计算机辅助线切割编程 (CAM)	12	8	4
第七章 线切割加工模具应用实例	24	8	16
第八章 电切削加工机床的调整与维护	10	6	4

目 录

(88)	因素要主制制器艺工工电电时参参参参参	第一章
(88)	器式艺工工电电时参参参参参	第二章
(97)	艺工工电电时参参参参参	第三章
(99)	艺工工电电时参参参参参	第四章
(103)		第五章
(101)	(CAM) 器参参参参参参参参参	第六章
(101)	第一章 电火花加工概述	(1)
(101)	第一节 电火花加工的概念及发展	(1)
(101)	第二节 电火花加工的基本原理	(2)
(111)	第三节 电火花加工工艺的分类及特点	(5)
(129)	第四节 电火花加工对材料可加工性和结构工艺性等的影响	(7)
(130)	第五节 电火花加工在模具制造中的应用	(10)
(131)	习题	(13)
(131)	第二章 电火花成形加工机床	(14)
(131)	第一节 电火花成形的加工规律	(14)
(133)	第二节 电火花成形加工机床的分类和结构	(20)
(143)	习题	(29)
(143)	第三章 电火花成形加工在模具制造中的应用	(31)
(143)	第一节 电火花穿孔加工工艺	(31)
(143)	第二节 型腔加工	(37)
(143)	第三节 塑料模具简单加工实例	(43)
(150)	习题	(49)
(153)	第四章 电火花线切割加工机床	(50)
	第一节 电火花线切割加工原理、特点及应用范围	(50)
	第二节 电火花线切割机床的基本组成	(52)
	第三节 电火花线切割控制系统及线切割编程	(59)
	习题	(79)
	第五章 数控电火花线切割加工工艺	(82)

第一节	影响数控线切割加工工艺指标的主要因素	(82)
第二节	数控线切割加工工艺方法	(86)
第三节	典型零件的数控线切割加工工艺	(97)
第四节	线切割加工的工艺技巧	(99)
	习题	(103)
第六章	计算机辅助线切割编程 (CAM)	(105)
第一节	概述	(105)
第二节	线切割轨迹的生成	(107)
第三节	线切割程序的自动生成	(112)
第四节	编程举例	(126)
	习题	(130)
第七章	线切割加工模具应用实例	(131)
第一节	简单冷冲模具的线切割加工	(131)
第二节	复杂冷冲模具的线切割加工	(134)
第三节	形状复杂工件的加工	(139)
	习题	(142)
第八章	电切削加工机床的调整与维护	(143)
第一节	电火花机床的常见故障与排除方法	(143)
第二节	电火花机床加工安全技术规程及维护保养方法	(145)
第三节	线切割常见故障的排除方法	(148)
第四节	线切割机床的维护保养方法	(150)
	习题	(153)

第一章 电火花加工概述

第一节 电火花加工的概念及发展

一、电火花加工的概念

电火花加工又称放电加工 (Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 是一种直接利用电能和热能进行加工的工艺。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蚀除掉 (图 1—1)。由于放电过程中可见到火花, 故称之为电火花加工。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和有特殊要求的零部件, 在民用和国防工业中获得越来越多的应用, 并且已成为切削加工的重要补充和发展方向之一。

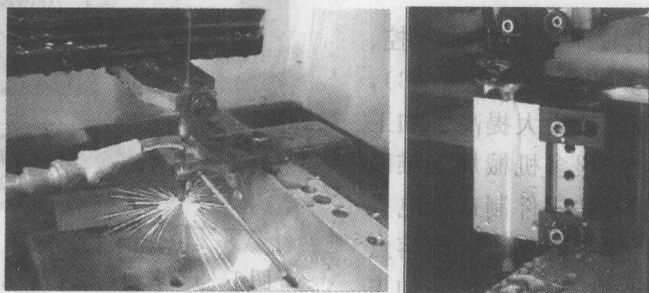


图 1—1 电火花加工过程中工具和工件并不接触, 靠电火花的瞬时高温蚀除材料

二、电火花加工的发展

1870 年, 英国科学家普里斯特利 (Priestley) 最早发现电火花对金属的腐蚀作用。1943 年, 前苏联的拉扎林柯夫发明了世界第一个实用的电火花加工装置。此后, 前苏联科学院对电火花加工技术进行了全面研究, 并在 1957 年研制出电火花线切割机床。这种机床把慢慢移动的铜丝作为线电极, 能在 XY 平面内切割出复杂的轮廓。此后, 前苏联又先后研制出了靠模仿形线切割加工机床、光电控制线切割机床、数字控制电火花线切割机床。

我国开展电加工技术研究起步较早, 1951 年起就开始了电火花的试验研究工作。1958 年, 我国开始着手设计制造简易线切割机床, 1960 年在第一次全国电加工会议上首次展出电火花线切割样品。1961 年我国成功研制出靠模仿形的电火花线切割机床, 这种机床能够切割尺寸小、形状复杂、材料特殊的冲模和零件。同时, 自行设计的电火花成形加工设备开

始成批生产,推动了电火花加工的发展。1963年上海电表厂工程师张维良发明了我国独有的电火花高速走丝线切割机床(WEDM—HS)(图1—2)。高速线切割加工的主要工艺指标为:切割速度一般在 $10\sim 80\text{ mm}^2/\text{min}$,加工精度为 $0.01\sim 0.02\text{ mm}$,加工表面粗糙度 R_a 值为 $2.5\sim 1.25\text{ }\mu\text{m}$ 。

20世纪80年代开始,我国国民经济的迅速发展带动电火花加工技术快速发展到一个新阶段。电火花线切割加工技术发展最快,特别是单板机、单片机数控线切割加工机床达到年产上万台的数量,成为我国冲模加工制造的主要手段。

20世纪90年代,随着计算机技术的应用,更加推动电火花加工技术的发展,特别是在加工精度、加工质量、可靠性、自动化方面更有长足进步。高速走丝电火花线切割加工机床普遍采用微型计算机控制,并且有人机对话、自动编程、全自动控制、大斜度加工等多项功能,加工工艺指标进一步稳定提高。同时,低速走丝线切割加工机床在我国快速发展,除了大量引进瑞士、日本等国的机床之外,国产低速走丝线切割加工机床的质量、产量逐渐接近国际水平,加工精度达到了微米级。

电火花成形加工技术已从单轴数控、多轴数显,发展为多轴数控(图1—3),并具有一定的人工智能,大大提高了加工精度、质量和可靠性。很多机械加工难以实现的复杂、精密模具和零件制造被电火花加工技术所攻克,多种高硬度、高熔点难加工材料的成形问题,也被电火花加工技术逐一解决。

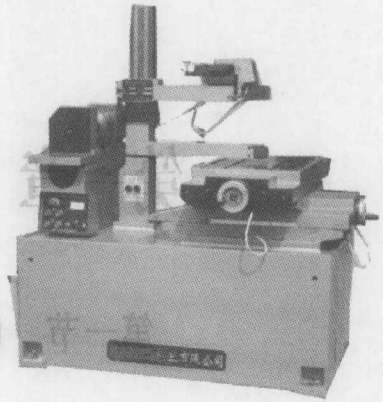


图 1—2 国产电火花线切割机床

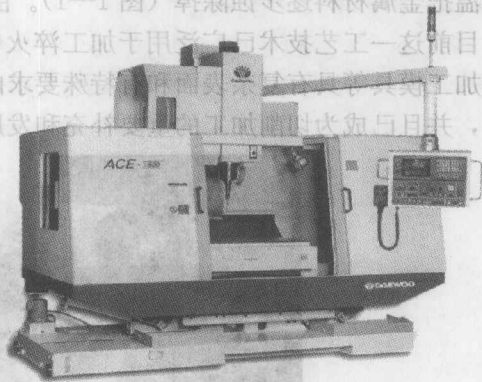


图 1—3 多轴数控电火花成形加工机床

第二节 电火花加工的基本原理

一、电火花加工原理概述

如图1—4所示,工件3和电极2置于绝缘工作液中,并分别与直流电源的正、负极连接。脉冲发生器1由限流电阻R和电容器C构成,可以将直流电流转变成脉冲电流。外接直流电源E后,通过限流电阻R对电容器C进行充电,当充电电压达到或超过工件与电极之间的击穿电压时,间隙被击穿而产生火花放电。由于放电时间很短,且发生在放电区的小

点上,所以能量高度集中,放电区的电流密度很大,温度很高,可高达 $10\,000^{\circ}\text{C}$ 以上,使金属材料发生熔化或汽化,电极和工件的表面被腐蚀成一个小凹坑。如此反复,就可以完成对工件的加工。

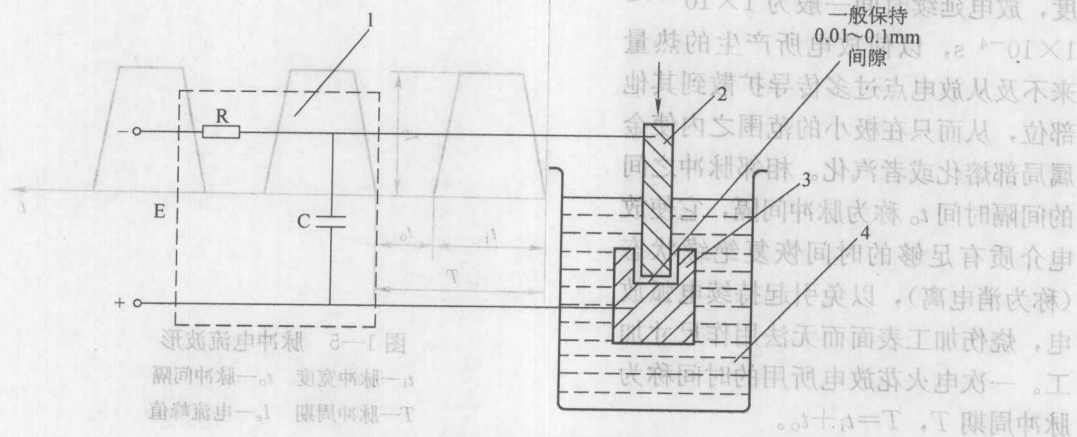


图 1-4 电火花加工原理简图

1—脉冲发生器 2—电极 3—工件 4—工作液

二、脉冲放电的基本条件

要使脉冲放电能够用于零件加工,应具备下列基本条件:

1. 工具电极和工件保持间隙

必须使接在不同极性上的工具电极和工件保持一定的距离以形成放电间隙。这个间隙的大小与加工电压、加工介质等因素有关,一般为 $0.01\sim 0.1\text{ mm}$ 。在加工过程中还必须用工具电极的进给和调节装置来保持这个放电间隙,使脉冲放电能连续进行。

2. 介质为有一定绝缘性能的液体

放电必须在具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。没有一定的绝缘性能,就不能击穿放电而形成火花通道。对电火花加工方法中使用的液体介质的主要要求为:

(1) 在达到要求的击穿电压之前,液体介质保持较高的绝缘性能。

(2) 一旦达到击穿电压,电击穿尽可能在较短时间内完成。

(3) 在放电完成之后,迅速地熄灭火花,使火花间隙消除电离。

(4) 具有较好的冷却作用,并从工作间隙带走悬浮的切屑粒子。

由于煤油的黏度低、渗透性好,能深入到窄缝深孔中去。大多数电火花机床曾采用煤油作为工作液进行穿孔和型腔加工。近年来,新开发的水基工作液可使粗加工效率大幅度提高。



特别提示

当加工电流超过 100 A 或加工时间过长时(如加工大型复杂型腔模),为了避免煤油着火,一般采用燃点较高的机油,或煤油与机油混合物等作为工作液。

金电3. 火花放电必须是脉冲性和间歇性的。如图1-5所示为脉冲电源电流波形。放电延续时间 t_i 称为脉冲宽度，放电延续时间一般为 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ s，以使放电所产生的热量来不及从放电点过多传导扩散到其他部位，从而只在极小的范围之内使金属局部熔化或者汽化。相邻脉冲之间的间隔时间 t_o 称为脉冲间隔，它使放电介质有足够的时间恢复绝缘状态（称为消电离），以免引起持续电弧放电，烧伤加工表面而无法用作尺寸加工。一次电火花放电所用的时间称为脉冲周期 T ， $T = t_i + t_o$ 。

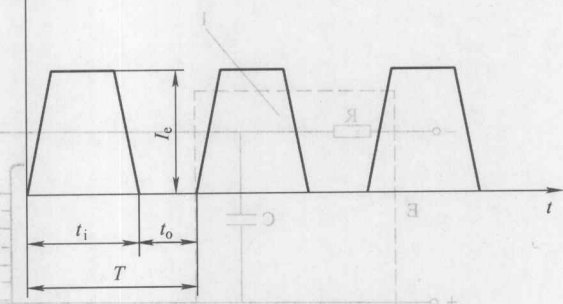


图 1-5 脉冲电流波形

t_i —脉冲宽度 t_o —脉冲间隔

T —脉冲周期 I_e —电流峰值

4. 有足够的脉冲放电能量

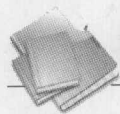
足够的脉冲放电能量可保证放电部位的金属熔化或汽化。

上述问题的综合解决，是通过电火花加工设备及其各组成部分来实现的。工件与工具分别与脉冲电源相连接，自动进给调节装置（此处可为液压缸及活塞）使工件与工具之间经常保持一很小的放电间隙。当脉冲电压加到两极之间，脉冲电压由低升高并将某一间隙最小处或绝缘强度最低处击穿，在该局部产生火花放电的瞬时高温蚀除掉工件和工具表面一小部分金属，从而使其各自形成一个小凹坑。脉冲放电结束，经过一段间隔时间，工作液恢复绝缘之后，第二个脉冲电压又加到两极上，又重复上述过程。这样随着高频率、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，加工出所需的零件。零件的整个加工表面由无数个小凹坑组成。

三、极性效应

在脉冲放电过程中，工件和工具电极都要受到电腐蚀作用，但正、负两极的蚀除速度不同。这种在相同的电参数下，两极蚀除速度不同的现象称为极性效应。

从提高加工生产率和减少工具损耗的角度来看，极性效应越显著越好。因此，必须充分利用极性效应，合理选择加工极性，以提高加工速度，减少电极的损耗。在实际生产中，工件接正极的加工称为“正极性加工”或“正极性接法”，工件接负极的加工称为“负极性加工”或“负极性接法”。极性的选择主要靠试验确定。



深入阅读

产生极性效应的基本原因是由于电子的质量小，其惯性也小，在电场力作用下容易在短时间内获得较大的运动速度。即使采用较短的脉冲进行加工的能量也大，并能迅速地到达阳极，轰击阳极表面。而正离子由于质量大，惯性也大，在相同时间内所获得的速度远小于电

子。当采用短脉冲进行加工时，大部分正离子尚未到达负极表面，脉冲便已结束，所以负极的蚀除小于正极（图 1—6a）。但是，当用较长的脉冲加工时，正离子可以有足够的时间加速，获得较大的运动速度，并有足够的时间到达负极表面，加上它的质量大，因而正离子对负极的轰击作用远大于电子对正极的轰击，负极的蚀除量则大于正极（图 1—6b）。

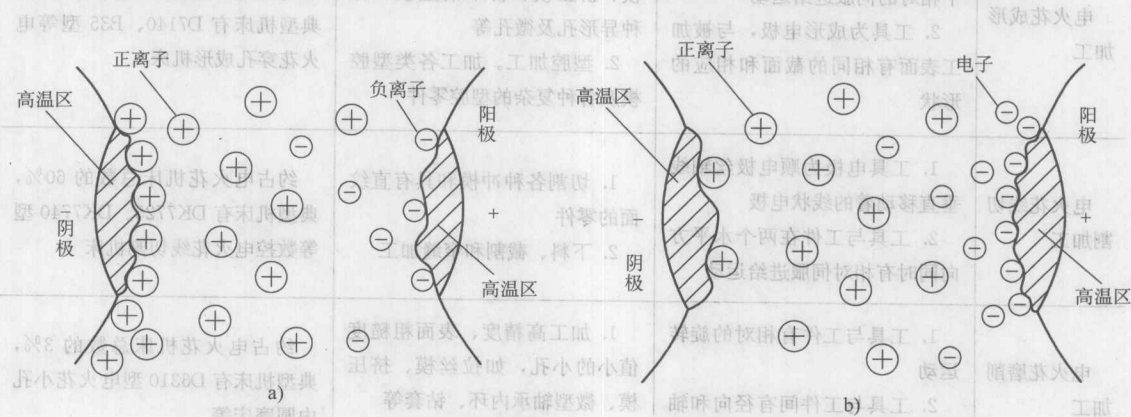


图 1—6 脉冲放电示意图

a) 短脉冲放电示意图 b) 长脉冲放电示意图

第三节 电火花加工工艺的分类及特点

一、电火花加工工艺方法的分类

电火花加工工艺按工具电极相对工件的运动方式和用途大致可分为六类（图 1—7）。

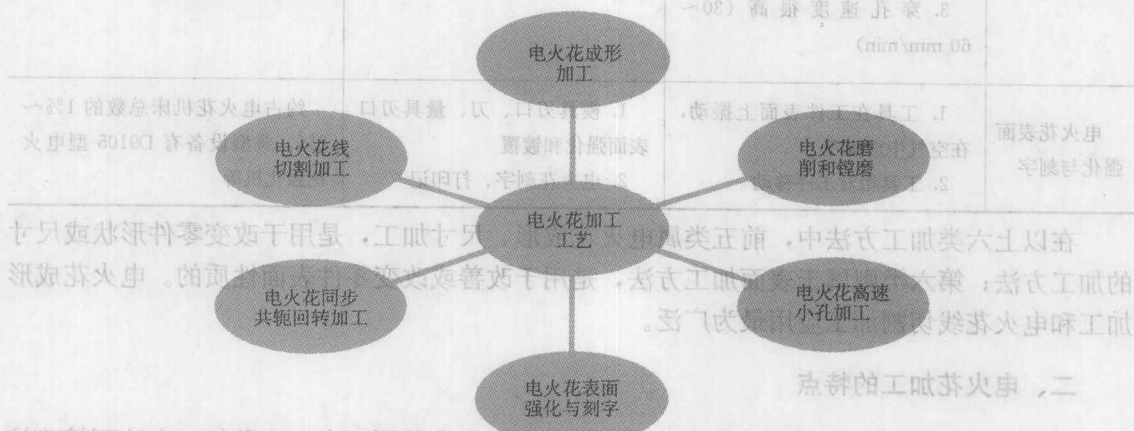


图 1—7 电火花加工工艺的分类

表 1—1 电火花加工工艺方法分类

工艺方法	特 点	用 途	备 注
电火花成形加工	1. 工具和工件间主要只有一个相对的伺服进给运动 2. 工具为成形电极, 与被加工表面有相同的截面和相应的形状	1. 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 2. 型腔加工。加工各类型腔模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 D7140、B35 型等电火花穿孔成形机床
电火花线切割加工	1. 工具电极为顺电极丝轴线垂直移动着的线状电极 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	约占电火花机床总数的 60%, 典型机床有 DK7725、DK7740 型等数控电火花线切割机床
电火花磨削加工	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、滚刀等	约占电火花机床总数的 3%, 典型机床有 D6310 型电火花小孔内圆磨床等
电火花同步共轭回转加工	1. 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 2. 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 型内外螺纹加工机床
电火花高速小孔加工	1. 采用细管 ($>\phi 0.3\text{ mm}$) 电极, 管内充入高压水基工作液 2. 细管电极旋转 3. 穿孔速度很高 ($30\sim 60\text{ mm/min}$)	1. 线切割穿丝预孔 2. 深径比很大的小孔, 如喷嘴等	约占电火花机床总数的 2%, 典型机床有 D703A 型电火花高速小孔机加工机床
电火花表面强化与刻字	1. 工具在工件表面上振动, 在空气中放火花 2. 工具相对工件移动	1. 模具刃口、刀、量具刃口表面强化和镀覆 2. 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 型电火花强化机等

在以上六类加工方法中, 前五类属电火花成形、尺寸加工, 是用于改变零件形状或尺寸的加工方法; 第六类则属于表面加工方法, 是用于改善或改变零件表面性质的。电火花成形加工和电火花线切割加工应用最为广泛。

二、电火花加工的特点

目前, 电火花加工的材料去除速度与一般的切削方法差别不大。这种加工方法可精确控制进给机构, 以合适的工具代替切削工具, 切削能量由脉冲电源提供。在制造以碳化钨、钨钴类硬质合金或硬钢为材料的模具、工具的过程中, 电火花加工起着重要的作用。相对于常

规切削、磨削，电火花加工具有如下特点：

- 1. 不用机械能量、不靠切削力去除金属，而是直接利用电能，加工过程易于控制，易于实现自动化。
- 2. 可以加工任何硬、脆、软、黏及高熔点的导体和半导体材料，包括硬质合金和导电陶瓷、导电聚晶金刚石等。
- 3. 在加工过程中，工具和工件之间不直接接触，不存在显著的机械切削力。可以加工薄壁、低刚度、微细、复杂的零件，如复杂型腔模具加工等。
- 4. 可以改进结构设计，改善结构的工艺性。可以将镶拼结构的硬质合金冲模改为用电火花加工的整体结构，减少了加工和装配时间，延长了使用寿命（图 1—8）。
- 5. 电火花加工的表面是由许多小的弧坑组成的，有助于保存润滑液，使之更好地起到润滑作用（图 1—9）。

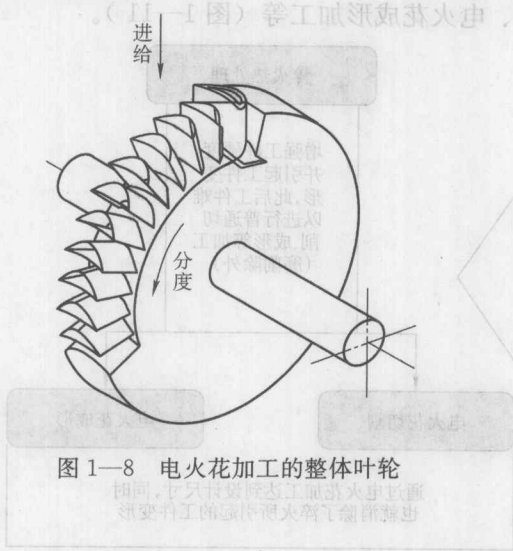


图 1—8 电火花加工的整体叶轮

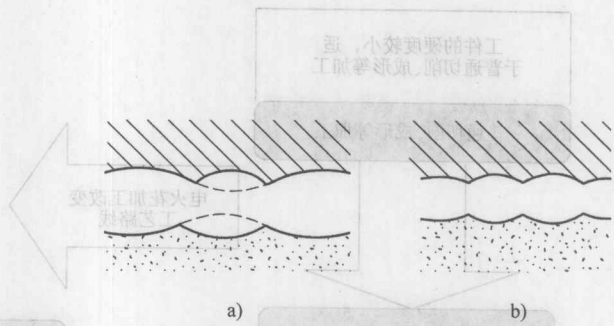


图 1—9 电火花加工表面图

a) 单脉冲放电加工表面 b) 连续脉冲放电加工表面

正是由于具有上述特点，使用电火花加工技术在对难加工材料、复杂的表面和有特殊要求的工件加工方面大有用武之地，成为常规切削、磨削加工的重要补充和发展手段。特别是电火花线切割加工及电火花成形加工工艺在电加工中应用最为普遍，因此，本书重点介绍这两种加工工艺方法。

第四节 电火花加工对材料可加工性和结构工艺性等的影响

电火花加工工艺的广泛应用，引起了机械制造工艺领域内的许多变革，使材料的可加工性、工艺路线的安排、新产品的试制过程、产品零件设计的结构及零件结构工艺性衡量标准等都受到了影响。

一、提高了材料的可加工性

以往认为金刚石、硬质合金，淬火钢等材料是很难加工的，而现在已经广泛采用金刚

石、聚晶（人造）金刚石制造的刀具、工具、拉丝模具采用电火花线切割方法来加工（图 1—10）。材料的可加工性不再与硬度、强度、韧性、脆性等成直接的比例关系，对电火花线切割加工而言，淬火钢比未淬火钢更易加工。

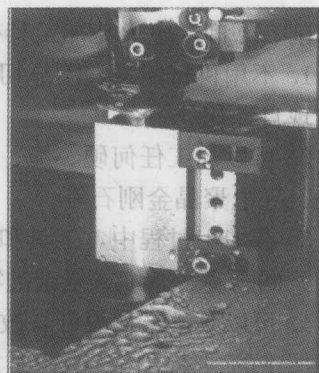


图 1—10 电火花加工人造金刚石

二、改变了零件的典型工艺路线

以往除磨削外，其他切削等加工工序都必须安排在淬火热处理工序之前，电火花加工工艺的出现，改变了这种程序模式。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淬火引起热处理变形，一般都先淬火而后加工，最为典型的是电火花线切割加工、电火花成形加工等（图 1—11）。

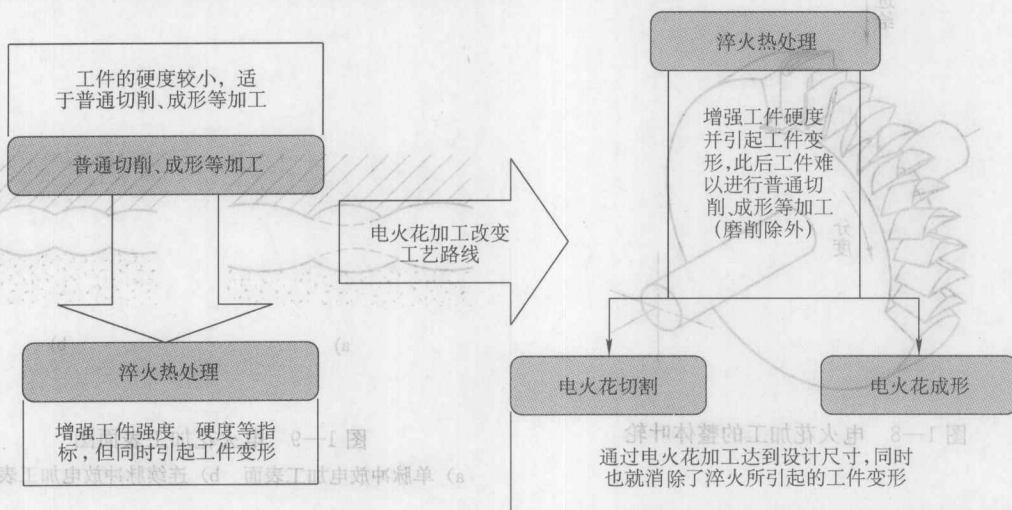


图 1—11 电火花加工改变工艺路线

电火花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，由于电火花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，对于较大的、复杂的加工表面，通过电火花加工往往能使工序比较集中（图 1—12）。

三、改变了试制新产品的工序和工艺

采用数控电火花线切割，可以直接加工出各种标准和非标准新产品，而不必事先设计制造专用生产工具，例如加工直齿圆柱齿轮（包括非圆柱齿轮、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等。这样可以省去设计和制造相应的刀、夹、量、模具及二次工具，大大缩短了试制周期。

四、对产品零件结构设计的影响

由于各种复杂冲模过去不易制造，如山形硅钢片冲模、电动机转子硅钢片整体凹模，往

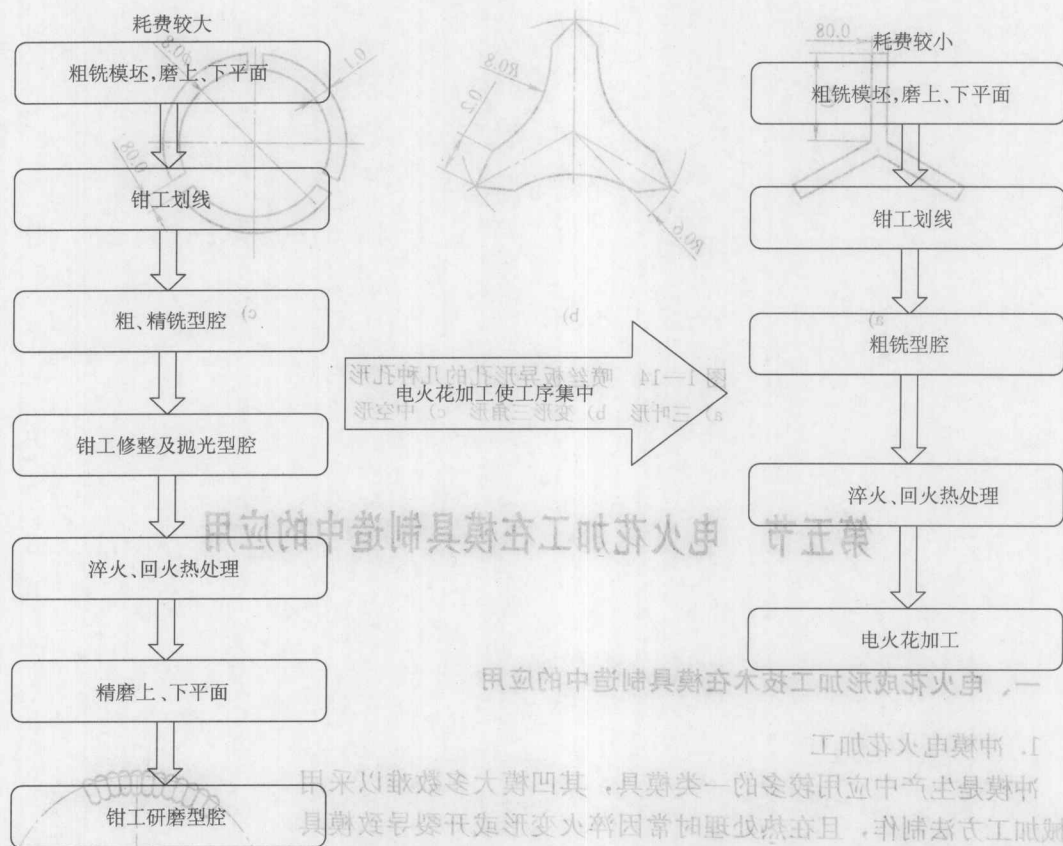


图 1—12 电火花加工使工序集中 (以连杆加工为例)

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使用电火花加工而可采用整体结构。

五、改变了传统结构工艺性的评判准则

过去认为方孔、小孔、弯孔、窄缝等的结构工艺性较差,电火花加工的采用改变了这种认识。对于电火花穿孔、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、窄缝等(图 1—13、图 1—14),采用电火花加工后由难变易了。过去淬火前如忘了钻定位销孔、铣槽等加工工艺,淬火后这种工件只能报废,现在则可用电火花打孔、切槽的方法进行补救。相反,有时为了避免淬火开裂、变形等影响,特意把钻孔、开槽等工艺安排在淬火之后,这在不采用电火花加工的条件下,曾被认为是一种工艺错误。

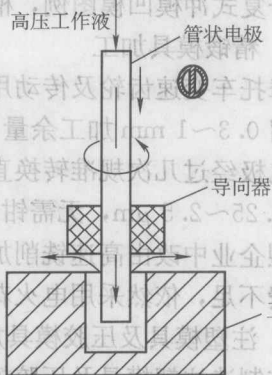


图 1—13 电火花加工小孔示意图



图 1—14 喷丝板异形孔的几种孔形
a) 三叶形 b) 变形三角形 c) 中空形

第五节 电火花加工在模具制造中的应用

一、电火花成形加工技术在模具制造中的应用

1. 冲模电火花加工

冲模是生产中应用较多的一类模具，其凹模大多数难以采用机械加工方法制作，且在热处理时常因淬火变形或开裂导致模具报废。采用电火花加工工艺，模板可先行淬火，令其变形后加工凹模，这样避免了热处理变形的弊病，而且模板可制成整体，无需镶拼，既简化了模具结构又能提高模具的强度与使用寿命。近年来，由于线切割机床的普及和工艺水平的提高，不少冲模的凹模加工为电火花线切割加工工艺所取代（如图 1—15 所示为电动机转子复式冲模凹模图例，槽数 72，且每孔带 3°斜度）。

2. 精锻模具加工

摩托车变速齿轮及传动用锥齿轮的精锻模具，先采用机械切削加工模具外表及预加工型腔，留 0.3~1 mm 加工余量，用紫铜或石墨制作电极，然后采用电火花成形加工工艺，用单个电极经过几次规准转换直接加工成形。加工时采用低损耗工艺参数，锻模表面粗糙度值可达 1.25~2.5 μm ，无需钳工修形或抛光即可交付使用（图 1—16）。目前这类精锥面模具在大型企业中改由高速铣削加工中心担负加工任务，但对大多数中、小企业而言，因购置设备经费不足，依然采用电火花成形加工工艺。

3. 注塑模具及压胶模具加工

在制造注塑模具及压胶模具时，大多数采用机械切削加工模具外表及粗铣型腔，仅将刀具精铣困难或无法精铣的部位留给电火花成形加工。如图 1—17 所示为加工塑料叶轮的叶轮工具电极实例，工件材料为 45 钢，在 $\phi 120\text{ mm}$ 圆范围内，以其轴心作为对称中心，均匀分布 6 个叶片的型槽，槽的最深处尺寸为 15 mm，槽的上口宽 2.2 mm，槽壁有 0.02 mm 的脱

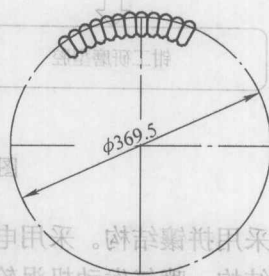


图 1—15 电动机转子复式冲模凹模图