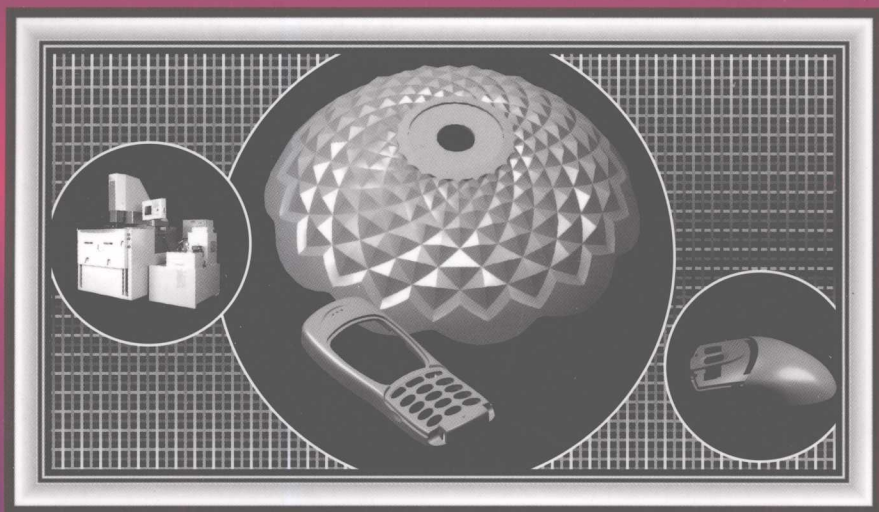


梁庆 丘立庆 李博 编著

模具数控电火花成型加工 工艺分析与操作案例

MUJU SHUKONG DIANHUOHUA CHENGXING JIAGONG
GONGYI FENXI YU CAOZUO ANLI

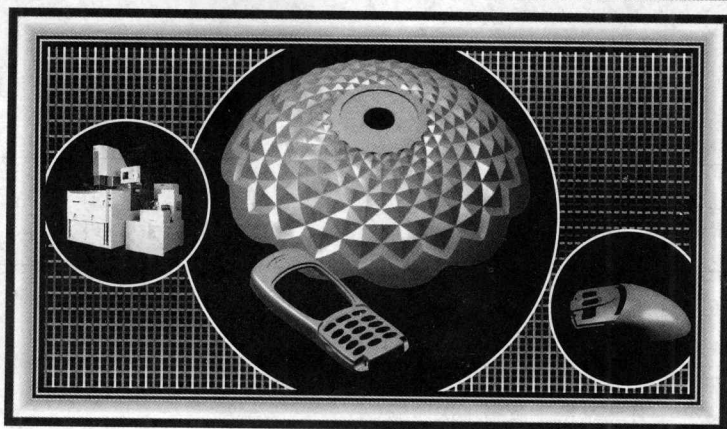


化学工业出版社

梁庆 丘立庆 李博 编著

模具数控电火花成型加工 工艺分析与操作案例

MUJU SHUKONG DIANHUOHUA CHENGXING JIAGONG
GONGYI FENXI YU CAOZUO ANLI



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控电火花成型加工工艺分析与操作案例/梁庆, 丘立庆,
李博编著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-122-01449-8

I. 模… II. ①梁…②丘…③李… III. 模具-数控机床-电火
花加工 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 170071 号

责任编辑: 李军亮
责任校对: 凌亚男

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 6 $\frac{3}{4}$ 字数 180 千字
2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

前言

人类社会的发展和科学技术的进步,使得塑料、五金制品的应用几乎遍布各个领域。而所有这些领域所应用到的产品,大多是要通过塑料、五金等模具来生产的。模具是相关产业社会化大生产中最为重要的一个环节,理所当然也得到了长足的发展和进步。

伴随着我国的经济的发展,模具的总体水平得到了前所未有的提高,也大大地缩短了与世界强国的距离。我国的制造业在全世界占据着举足轻重的地位,因此产生了社会对模具产业人才的大量需求,同时也对模具产业人才的水平提出了更高的要求。模具生产的工艺水平及科技含量的高低,已成为衡量一个国家科技与产品制造水平的重要标志,它在很大程度上决定着产品的质量、效益、新产品的开发能力,决定着—个国家制造业的国际竞争力。加入世贸组织后,中国正在逐步变成“世界制造中心”,为了增强竞争力,制造企业已开始广泛使用先进的数控技术来生产制造模具,模具制造已成为先进制造技术的一个重要组成部分。为了顺应形势的发展,满足广大模具制造技术人员和管理人员的需求,我们编写了《模具机械加工工艺分析与操作案例》、《模具数控铣削加工工艺分析与操作案例》、《模具数控电火花成型加工工艺分析与操作案例》、《模具数控电火花线切割加工工艺分析与操作案例》—系列图书,希望能对模具加工行业人员技术水平的提高有所帮助。

本书是根据我们在多年实际工作中积累的经验编写而成的,采用了通俗的语言、详细的引导、对比的说明,使得读者更易于理解、掌握。本书所列实例,全部经过生产验证,所给数据也都来自实际的模具加工,读者可以参考使用。本书内容详细、齐全,只要读者认真地学习,加以吸收、消化,并在实际模具生产中加以应用,相信就能够提高自身的模具制造技术水平。

本书以模具数控电火花成型加工工艺为主线,详细、系统地讲

解了作为模具加工人员在实际工作过程中所应具备的知识。本书可供模具制造业相关加工技术人员参考，也可供职业院校模具专业的师生参考。

本书在编写过程中，得到了深圳市嘉达机械厂 CNC 部、东莞振鹏塑胶模具厂设计部、广西诚基永信工程公司产品研发部、南宁燎旺车灯有限责任公司设计部、南宁职业技术学院机电系等单位提供的大量信息技术和宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 数控电火花成型加工工艺基础	1
1.1 数控电火花成型加工设备与加工原理	1
1.1.1 数控电火花成型加工机床的组成	1
1.1.2 数控电火花成型加工机床的附件	3
1.1.3 数控电火花成型加工原理	5
1.2 数控电火花成型加工的特点及应用	7
1.2.1 电火花成型加工的特点	7
1.2.2 电火花成型加工的局限性	9
1.2.3 电火花成型加工的应用	9
1.3 数控电火花成型加工的主要工艺指标及其影响因素	11
1.3.1 电参数对电火花成型加工主要工艺指标的影响	11
1.3.2 非电参数对电火花成型加工主要工艺指标的影响	23
1.3.3 电极单边放电间隙(火花位)的计算与确定	34
1.4 数控电火花成型加工基本工艺过程	37
1.4.1 电加工工艺参数的选定	38
1.4.2 预加工	39
1.4.3 加工方式选定	39
1.5 数控电火花成型加工常用电极	40
1.5.1 电极材料的选择	40
1.5.2 电极的设计	41
1.5.3 电极制造	42
1.5.4 石墨电极的应用	43
1.6 数控电火花成型加工液	44
1.6.1 电火花加工液的主要性能	44
1.6.2 电火花工作液发展的三个阶段	45
1.6.3 电火花加工液的种类和质量变化	45
1.6.4 电火花加工液的使用要点	46
1.6.5 电火花成型加工中加工液的处理	47
1.7 数控电火花成型加工的数控系统	50

1.7.1	电火花加工单轴数控系统	51
1.7.2	电火花加工多轴数控系统	52
1.7.3	电火花数控摇动加工	52
1.8	数控电火花加工中放电不稳定现象产生原因及改善措施	53
1.8.1	电火花加工放电过程机理的概述	54
1.8.2	电火花加工稳定状况的评判与其产生的影响	54
1.8.3	产生放电不稳定现象的原因及改善措施	55
第2章 数控电火花成型加工技术及其在模具制造中的应用		61
2.1	电火花成型加工的基本工艺技术	61
2.2	电火花穿孔加工方法	61
2.2.1	冲模的电火花成型加工	61
2.2.2	小孔电火花成型加工	63
2.2.3	电火花高速小孔加工	64
2.2.4	异形小孔的电火花成型加工	65
2.2.5	多孔的电火花成型加工	66
2.2.6	微孔电火花成型加工	67
2.2.7	超声波电火花复合加工小孔	68
2.3	电火花型腔加工方法	70
2.3.1	电极平动加工法	70
2.3.2	多电极更换加工法	71
2.3.3	分解电极加工法	71
2.3.4	工件的准备	72
2.3.5	电规准的选择、转换与平动量分配	72
2.4	数控电火花成型加工技术在模具制造中的应用	73
2.4.1	数控电火花成型技术在模具加工中的应用	73
2.4.2	冲模电火花成型加工	79
2.4.3	精锻模具加工	79
2.4.4	注塑模具及压胶模具加工	79
2.4.5	电火花展成加工	79
2.4.6	精密微细加工	80
2.5	数控电火花成型工艺与模具制造工艺的相关性	80
2.5.1	电极的设计和制造必须趋于简单化	80
2.5.2	创成加工的实用化及其经济技术效益	81

2.5.3	电极制造的基准	82
2.5.4	电加工的前期工艺	82
2.6	模具数控电火花成型加工技术发展现状与趋势	84
2.6.1	数控电火花加工技术发展的基本现状	84
2.6.2	数控电火花加工的操作过程	87
2.6.3	数控电火花加工新工艺的应用	87
2.6.4	数控电火花加工技术的发展趋势	89

第3章 冲模数控电火花成型加工工艺分析与操作案例

3.1	冲模的电火花成型加工	90
3.1.1	分析图纸、选择加工工艺方法	90
3.1.2	电极的准备	93
3.1.3	工件的准备	98
3.1.4	电极与工件的装夹定位	99
3.1.5	规准的选择与转换	100
3.2	冲模数控电火花成型加工工艺分析与操作案例	100
3.2.1	2B70 定子冲模电火花成型加工	100
3.2.2	方孔冲模的电火花成型加工	102
3.2.3	山字铁硅钢片冲孔落料模的电火花成型加工	104
3.2.4	SYL 电机转子冲模数控电火花成型加工	106
3.2.5	电机转子冲孔落料模电火花成型加工	109
3.2.6	钟表齿轮精密冷冲模电火花成型加工	111
3.2.7	JO ₂ 8-4 定子复式冲模电火花成型加工	113
3.3	多孔级进模数控电火花成型加工工艺分析与操作案例	115
3.3.1	一般级进模电火花成型加工	115
3.3.2	某种扳手四孔级进模的电火花成型加工	119

第4章 简单型腔模数控电火花成型加工工艺分析与操作案例

4.1	型腔模主要加工方法	122
4.1.1	常见加工方法	122
4.1.2	常见加工方法的选择因素	125
4.1.3	型腔模具混粉镜面电火花加工	128
4.2	型腔模电火花成型加工	131
4.2.1	工艺方法	131

32	4.2.2	工具电极	136
33	4.2.3	电规准的选择、转换和平动量的分配	136
18	4.2.4	电火花成型加工过程	137
14	4.3	精密型腔模电火花成型加工	138
32	4.3.1	保证加工精度	139
38	4.3.2	采用多电极加工法	139
68	4.3.3	对电极的要求	139
	4.3.4	保证电极、工件校正与定位	140
69	4.3.5	正确选用电规准,调节放电状态稳定	141
04	4.4	硬质合金型腔模的电火花成型加工	142
08	4.4.1	电极	142
89	4.4.2	电火花成型加工工艺	144
89	4.4.3	提高硬质合金型腔模电火花加工效率的有效途径	146
94	4.5	单工具电极直接成型工艺分析与操作案例	146
001	4.5.1	简单型腔数控电火花成型加工	146
001	4.5.2	纪念币压形模电火花成型加工	148
001	4.5.3	连杆锻模的电火花成型加工	150
501	4.5.4	摩托车曲柄锻模电火花成型加工	151
14	4.6	单工具电极平动成型工艺分析与操作案例	153
84	4.7	单工具电极数控摆动成型工艺分析与操作案例	156
901	4.7.1	贴壁橡胶压型模电火花成型加工	156
111	4.7.2	汽车前大灯反射镜注塑模数控电火花成型加工	158
84	4.8	多工具电极更换成型工艺分析与操作案例	161
211	4.8.1	简单型腔数控电火花成型加工	161
211	4.8.2	固定座凹模数控电火花成型加工	163

第5章 复杂型腔模数控电火花成型加工工艺分析与操作案例 168

55	5.1	单工具电极直接成型工艺分析与操作案例	168
55	5.2	单工具电极平动成型工艺分析与操作案例	170
55	5.2.1	电视机后盖注塑模型腔电火花加工	170
55	5.2.2	洗衣机调节螺母注塑模电火花成型加工	171
55	5.2.3	塑料叶轮注塑模电火花成型加工	174
161	5.2.4	多型腔压胶模数控电火花成型加工	176
181	5.2.5	胶木手柄压胶模电火花成型加工	180

5.3 单工具电极数控摆动成型工艺分析与操作案例	182
5.3.1 骨架注塑模镶件电火花成型加工	182
5.3.2 密封圈压胶模电火花成型加工	185
5.4 多工具电极更换成型工艺分析与操作案例	189
5.5 分解工具电极成型工艺分析与操作案例	194
参考文献	198

第 1 章

数控电火花成型加工工艺基础

1.1 数控电火花成型加工设备与加工原理

1.1.1 数控电火花成型加工机床的组成

数控电火花成型机的设备组成如图 1-1 和图 1-2 所示。

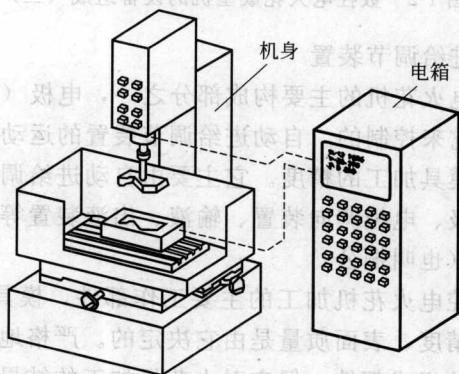


图 1-1 数控电火花成型机的设备组成 (一)

数控电火花成型机的设备组成如图 1-2 所示，共由 8 个部分组成。

(1) 脉冲电源 (也叫电箱)

脉冲电源 (也叫电箱) 是数控电火花机里最主要的部分之一，数控电火花加工的精度由它来控制，加工的表面质量、加工的速度快慢、加工的正常运行、加工间隙的控制调节、数据的控制等，都由电箱来完成，它是数控电火花机质量的主要标示之一。电箱主要由箱体、脉冲电源、可编程控制器、整机数据控制系统、控制面板、显示器等组成。

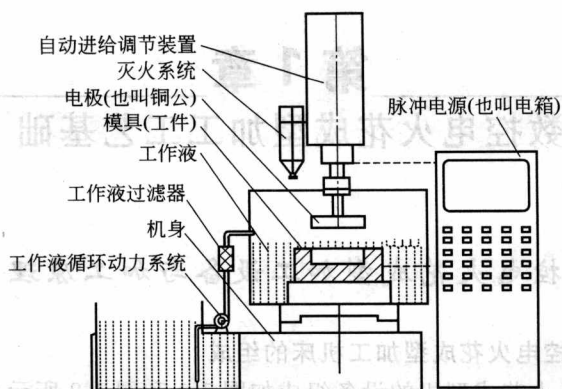


图 1-2 数控电火花成型机的设备组成 (二)

(2) 自动进给调节装置

它是数控电火花机的主要构成部分之一，电极（也叫铜公）的自动升降是由它来控制的。自动进给调节装置的运动、控制的精度会直接影响到模具加工的精度。它主要由自动进给调节装置、导向装置、锁紧电极、电极调向装置、输液、出液装置等组成。

(3) 电极（也叫铜公）

电极是数控电火花机加工的主要工作部件，模具加工的形状、尺寸、深度、精度、表面质量是由它决定的。严格地讲，它不属于数控电火花机的组成部件，但它对火花机加工的结果影响很大，所以放到组成部分里来讲解。电极通常采用红铜或石墨加工而成，其中应用得最广泛的是红铜，要加工什么形状的模具，就把红铜加工成什么形状。

(4) 工作液

火花放电必须在有一定绝缘性能的液体介质中进行，工作液必须具有较高的绝缘强度，以有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细屑、炭黑等电蚀产物从放电间隙中悬浮排除出去，并且对电极和工件表面进行冷却，这些液体介质有煤油、皂化油、去离子水等。其中煤油是最常用的液体介质。

(5) 工作液循环动力系统

在数控电火花机加工过程中,液体介质需流动,这样便于让液体介质带走金属细屑和炭黑等电蚀产物,利于控制火花加工精度和加工表面质量,同时液体介质的流动还有利于液体介质本身的冷却。所以在电火花机加工时,都要给液体介质提供循环动力。

(6) 工作液过滤器

在电火花机不间断的放电加工过程中,会不断地产生金属细屑和炭黑,加工较长时间后,整个液体介质会变成黑色,这样对火花机的放电加工非常不利,也加工不出高要求的模具来,所以在火花机上都安装有过滤器来解决这类问题。虽然过滤器不能完全过滤掉铁屑和炭黑,但是可以大大地改善火花放电的环境。

(7) 机身

机身是支撑整台机器机械部分运动的平台,是机床的最主要的组成部分之一。在它上面安装有主轴头、立柱、工作台、工作液槽等几个部件。机身要求有足够的刚度和强度,机身工作台与立柱导轨面间应有一定的垂直度要求,导轨要有良好的耐磨性和足够的精确度。工作台是工件放置的平台,其平面度要求很高,在工作台作X、Y纵横移动过程中都有数字显示其坐标位置,确保连续加工时位移的精度。

(8) 灭火系统

在电火花机放电加工过程中,瞬间产生很高的温度,至火光四射,而液体介质最常用的是煤油。煤油是可燃性液体,所以在加工时,经常会有发生火灾的危险,如果没有灭火器,一旦发生火灾,后果是不堪设想的,轻者会把火花机床烧得面目全非,重者会把整个厂房烧得一无二净。所以一般电火花机上都安装有灭火系统,通常火花机上设计有两套灭火装置,一套是自动灭火装置,即当工作液起火时,自动灭火装置会自动启动灭火系统进行灭火,同时自动关闭电源供给。另一套是人工灭火器,即需工人操作灭火的装置。

1.1.2 数控电火花成型加工机床的附件

(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。垂直度调节功能常用球面铰链来实现，水平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，应用螺钉锁紧。此外，机床主轴、床身连成一体接地，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。

（2）平动头

电火花粗加工时的火花间隙比中加工的要大，而中加工的火花间隙比精加工的要大一些。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，就得改变规准逐档进行修整。由于后档规准的放电间隙比前档小，对工件底面可通过主轴进给进行修光，而四周侧壁就无法修光了。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。在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。

平动头的动作原理是：利用偏心机构将伺服电动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。其运动半径即平动量 Δ 通过调节可由零逐步扩大，以补偿粗、中、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。

（3）油杯

在电火花加工中，油杯是实现工作液冲油或抽油强迫循环的一个主要附件，其侧壁和底边上开有冲油和抽油孔。在放电电极间隙冲油或抽油，可使电蚀产物及时排出，因此油杯的结构好坏，对加工效果有很大影响。放电加工时，工作液会分解产生气体（主要是氢气），这种气体如不及时排出，就会存积在油杯里，当被电火花放电引燃时，将产生放炮现象，造成电极与工件位移，影响工件的尺寸精度。

1.1.3 数控电火花成型加工原理

(1) 加工原理

电火花加工是在液体介质中进行的，机床的自动进给调节装置使工件和工具电极之间保持适当的放电间隙，当工具电极和工件之间施加很强的脉冲电压（达到间隙中介质的击穿电压）时，会击穿介质绝缘强度最低处，如图 1-3 所示。由于放电区域很小，放电时间极短，所以，能量高度集中，使放电区的温度瞬时高达 $10000 \sim 12000^{\circ}\text{C}$ ，工件表面和工具电极表面的金属局部熔化，甚至汽化蒸发。局部熔化和汽化的金属在爆炸力的作用下抛入工作液中，并被冷却为金属小颗粒，然后被工作液迅速冲离工作区，从而使工件表面形成一个微小的凹坑。一次放电后，介质的绝缘强度恢复等待下一次放电。如此反复使工件表面不断被蚀除，并在工件上复制出工具电极的形状，从而达到成型加工的目的。

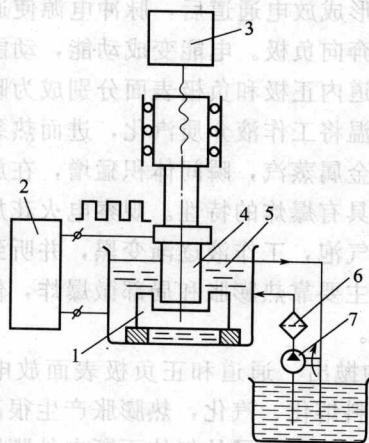


图 1-3 电火花成型加工原理

1—工件；2—脉冲电源；3—自动进给装置；4—工具电极；

5—工作液；6—过滤器；7—泵

电火花加工是不断放电蚀除金属的过程。虽然一次脉冲放电的时间很短，但它是电磁学、热力学和流体力学等综合作用的过程，是相当复杂的。综合起来，一次脉冲放电的过程可分为以下几个

阶段。

① 极间介质的电离、击穿及放电通道的形成 当脉冲电压施加于工具电极与工件之间时，两极之间立即形成一个电场。电场强度与电压成正比，与距离成反比，随着极间电压的升高或极间距离的减小，极间电场强度也将随着增大。由于工具电极和工件的微观表面是凸凹不平的，极间距离又很小，因而极间电场强度是很不均匀的，两极间离得最近的凸出点或尖端处的电场强度一般为最大。当电场强度增大到一定数量时，介质被击穿，放电间隙电阻从绝缘状态迅速降低到几分之一欧姆，间隙电流迅速上升到最大值。由于通道直径很小，所以通道中的电流密度很高。间隙电压则由击穿电压迅速下降到火花维持电压（一般约为 $20\sim 30\text{V}$ ），电流则由 0 上升到某一峰值电流。

② 介质热分解，电极材料熔化、汽化热膨胀中 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，动能通过碰撞又转变为热能。于是在通道内正极和负极表面分别成为瞬时热源，达到很高的温度。通道高温将工作液介质汽化，进而热裂分解汽化。这些汽化后的工作液和金属蒸汽，瞬间体积猛增，在放电间隙内成为气泡，迅速热膨胀并具有爆炸的特性。观察电火花加工过程，可以看到放电间隙间冒出气泡，工作液逐渐变黑，并听到轻微而清脆的爆炸声。电火花加工主要靠热膨胀和局部微爆炸，使熔化、汽化了的电极材料抛出蚀除。

③ 电极材料的抛出 通道和正负极表面放电点瞬时高温使工作液汽化和金属材料熔化、汽化，热膨胀产生很高的瞬时压力。通道中心的压力最高，使汽化了的气体不断向外膨胀，压力高处的熔融金属液体和蒸汽，就被排挤、抛出而进入工作液中。由于表面张力和内聚力的作用，使抛出的材料具有最小的表面积，冷凝时凝聚成细小的圆球颗粒。

熔化和汽化了的金属在抛离电极表面时，向四处飞溅，除绝大部分抛入工作液中并收缩成小颗粒外，还有一小部分飞溅、镀覆、吸附在对面的电极表面上。这种互相飞溅、镀覆以及吸附的现象，

在某些条件下可以用来减少或补偿工具电极在加工过程中的损耗。

实际上，金属材料的蚀除、抛出过程比较复杂，目前，人们对这一复杂的机理的认识还在不断深化中。

④ 极间介质的消电离 随着脉冲电压的结束，脉冲电流也迅速降为零，但此后仍应有一段间隙时间，使间隙介质消电离，即放电通道中的带电粒子复合为中性粒子，恢复本次放电通道处介质的绝缘强度，以及降低电极表面温度等，以免下次总是重复在同一处发生放电而导致电弧放电，从而保证在两极间最近处或电阻率最小处形成下一次击穿放电通道。

由此可见，为了保证电火花加工过程正常地进行，在两次脉冲放电之间一般要有足够的脉冲间隙时间。此外，还应留有余地，使击穿、放电点分散、转移，否则仅在一点附近放电，易形成电弧。

(2) NC 火花机数控加工

虽然加工原理一样，但还是把火花机分为普通火花机和 CNC 火花机两种类型，它们不同之处在于 CNC 火花机在加工时，碰数是自动碰数的，非常的精确，深度也是自动进给的，更精妙的是在加工时，铜公可以作 X、Y 的纵横向侧面进给，既修正模具的型腔尺寸，又消除了在火花机放电加工时的积炭问题，因为加工放电的表面没有了积炭层，工作液也非常的纯净，当然加工的速度也是很快的，而且加工出来的工件表面粗糙度非常的小而均匀。铜公的损耗、塌角问题也得到了很好的控制，这些都是棱角加工的先决条件，再加上 CNC 火花机超群的镜面加工功能，这对要求严格的高档产品的模具是非常重要的，也是非他莫属的。拥有此类设备是一家模具厂加工能力强的象征，当然，多数模具加工厂使用的大都以普通火花机居多。

1.2 数控电火花成型加工的特点及应用

1.2.1 电火花成型加工的特点

电火花成型加工是与机械加工完全不同的一种工艺方法，其主