

# 现代模具特种加工技术

——电火花加工实训

主编：叨叨鱼

四川科技职业学院

# 现代模具特种加工技术

——电火花加工实训

四川科技职业学院

# 前 言

电火花加工是利用浸在工作液中的两极间脉冲放电时产生的电蚀作用蚀除导电材料的特种加工方法，又称放电加工或电蚀加工，英文简称 EDM。在机械加工中广泛地应用在各种高硬度、形状复杂、微细、精密工件的生产，尤其是塑料模具和高精度冲压模具的生产。

本指导手册由各位教师长期的工作经验总结为内容，以教育部高职高专教学大纲为准则，坚持“必需、够用、实用”为原则，突出“厚基础，重实践”特点，使学生在有限的时段里较深入地掌握电火花成型机和线切割机操作的基本内容，以便适应工厂、企业、市场对数控人才技能的需求。本指导手册主要特点如下：

(1) 实例多，实践性强。以例题的形式详细讲述电火花加工操作中常用的、关键的操作方法，并附有较多加工实例及实际能使用的加工程序。如电火花加工中电极的装夹、定位、设计，线切割加工中电极丝的穿丝、垂直度的找正、工件中心的找正等。

(2) 内容新颖、全面。本书以电火花机床、快走丝线切割机床的操作为重点，兼顾其他特种加工。

(3) 理论部分内容适度够用。本书理论内容的选取以满足实际操作的需要为前提，适度够用。

由于编者水平有限，加之时间仓促，手册中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

参加手册的主编教师是：张勇

参加手册的参编教师是：杨旭

主审教师是：董祥忠

北京理工大学出版社

# 目录

项目一 断入工件丝锥、钻头的电火花加工.....	1
一. 项目导读.....	1
二. 相关知识.....	2
(一) 电火花成型机加工的应用范围.....	2
(二) 电火花成型机床加工基本原理.....	4
(三) 电火花成型机加工分类.....	6
(四) 电火花成型机加工工艺特点.....	7
(五) 电火花加工常用术语.....	8
(六) DK7145 成型机床及面板系统简介.....	13
三. 项目实施.....	30
(一) 加工准备.....	30
(二) 零件加工.....	33
四. 知识拓展.....	34
(一) 电火花成型机床安全操作规程.....	34
(二) 数控电火花成型机的 G 代码编程.....	35
五. 项目后记.....	37
(一) 成果提交.....	37
(二) 成果评估.....	38
(三) 课后思考.....	38
项目二 徽标图案型腔的电火花加工.....	39
一. 项目导读.....	39
二. 相关知识.....	40
(一) 电极材料选择.....	40
(二) 电极装夹夹具.....	43
(三) 电极与工件间的定位方法.....	48
(四) 电规准的选择与转换.....	53
(五) 工作液种类及作用.....	56
三. 项目实施.....	57
(一) 加工准备.....	57
(二) 零件加工.....	59
四. 知识拓展.....	60
(一) 影响电加工质量的因素.....	60
五. 项目后记.....	65
(一) 成果提交.....	65
(二) 成果评估.....	65
(三) 课后思考.....	65

项目三孔形模具型腔的电火花加工.....	66
一. 项目导读.....	66
二. 相关知识.....	67
(一) 型孔的电火花加工.....	67
(二) 型腔的电火花加工.....	75
(三) 电极的制造方法.....	83
三. 项目实施.....	87
(一) 加工准备.....	87
(二) 零件加工.....	91
四. 知识拓展.....	91
(一) 影响工件的加工速度、工具电极的损耗速度的主要因素.....	91
五. 项目后记.....	94
(一) 成果提交.....	94
(二) 成果评估.....	94
(三) 课后任务.....	94
(四) 课后思考.....	95
项目四 U 形定位板的快走丝线切割加工.....	97
一. 项目导读.....	97
二. 相关知识.....	98
(一) 线切割加工原理.....	98
(二) DK7735 电火花快走丝线切割机床及控制介绍.....	101
(三) 快走丝线切割 3B 编程原理.....	117
(四) 电火花线切割机床安全操作规程.....	122
三. 项目实施.....	123
(一) 加工准备.....	123
(二) 零件加工.....	126
四. 知识拓展.....	127
(一) ISO 程序段格式和程序格式.....	127
(二) ISO 代码及其编程.....	129
(三) ISO 编程实例.....	138
五. 项目后记.....	139
(一) 成果提交.....	139
(二) 成果评估.....	140
(三) 课后任务.....	140
(四) 课后思考.....	140
项目五切边凸模的快走丝线切割加工.....	141
一. 项目导读.....	141
二. 相关知识.....	142

(一) CAXA 软件的使用.....	142
(二) 电极丝垂直度的校正.....	150
三. 项目实施.....	152
(一) 加工准备.....	152
(二) 零件加工.....	156
四. 知识拓展.....	157
(一) 沙迪克慢走丝线切割机床基本操作.....	157
(二) UTY 慢走丝自动编程基本操作.....	161
五. 项目后记.....	165
(一) 成果提交.....	165
(二) 成果评估.....	165
(三) 课后任务.....	165
(四) 课后思考.....	166
项目六单型孔凹模的快走丝线切割加工.....	167
一. 项目导读.....	167
二. 相关知识.....	168
(一) 穿丝孔的确定.....	168
(二) 工件的装夹与找正.....	170
(三) 电极丝位置的调整.....	178
三. 项目实施.....	180
(一) 加工准备.....	180
(二) 零件加工.....	183
四. 知识拓展.....	185
(一) 电参数对线切割加工指标的影响.....	185
五. 项目后记.....	187
(一) 成果提交.....	187
(二) 成果评估.....	187
(三) 课后任务.....	187
(四) 课后思考.....	188
项目七多型孔凹模板的快走丝线切割加工.....	189
一. 项目导读.....	189
二. 相关知识.....	190
(一) 上丝与紧丝操作.....	190
(二) 跳线编程方法与加工过程.....	191
三. 项目实施.....	193
(一) 加工准备.....	193
(二) 零件加工.....	198
四. 知识拓展.....	199

(一) 非电参数的影响.....	199
(二) 提高切割形状精度的方法.....	203
五. 项目后记.....	207
(一) 成果提交.....	207
(二) 成果评估.....	207
(三) 课后任务.....	207
(四) 课后思考.....	208
项目八冲孔凹模的快走丝线切割配作加工.....	209
一. 项目导读.....	209
二. 相关知识.....	211
(一) 零件加工的工艺分析及方案确定.....	211
(二) 电加工参数及选择.....	218
(三) 非电加工参数及选择.....	221
三. 项目实施.....	223
(一) 加工准备.....	223
(二) 零件加工.....	227
四. 知识拓展.....	228
(一) 线切割断丝原因分析.....	228
(二) 慢走丝机床加工中断丝的主要原因及处理方法.....	229
五. 项目后记.....	230
(一) 成果提交.....	230
(二) 成果评估.....	230
(三) 课后任务.....	231
(四) 课后思考.....	231
项目九锥形凹模的快走丝线切割加工.....	232
一. 项目导读.....	232
二. 相关知识.....	235
(一) 锥度文件的定义.....	235
(二) 锥度文件生成对话框说明.....	235
(三) 同锥工件的加工.....	237
(四) 变锥工件的加工.....	242
三. 项目实施.....	246
(一) 加工准备.....	246
(二) 零件加工.....	252
四. 知识拓展.....	253
(一) DK7735 电火花快走丝线切割机床系统其他操作.....	253
五. 项目后记.....	265
(一) 成果提交.....	265

(二) 成果评估.....	265
(三) 课后任务.....	266
(四) 课后思考.....	267
项目十花凳的快走丝线切割加工.....	268
一. 项目导读.....	268
二. 相关知识.....	269
(一) 上下异形工件的编程与加工原理.....	269
三. 项目实施.....	275
(一) 加工准备.....	275
(二) 零件加工.....	282
四. 知识拓展.....	283
(一) 设备维护保养及一般故障的分析处理.....	283
五. 项目后记.....	285
(一) 成果提交.....	285
(二) 成果评估.....	285
(三) 课后任务.....	285
(四) 课后思考.....	286



# 项目一

## 断入工件丝锥、钻头的电火花加工

### 【能力目标】

1. 能熟练的操作电火花成型机床操作面板；
2. 能够进行机床的维护保养工作。

### 【知识目标】

1. 了解电火花的加工原理；
2. 了解电火花机床的结构；
3. 了解极性效应；
4. 掌握电火花加工安全操作规程；
5. 熟练操作数控电火花机床操作面板；
6. 掌握机床的维护保养；
7. 能操作数控线电火花机床加工简单零件。

### 【重点难点】

1. 电火花成型机的加工原理；
2. 极性效应；
3. 电火花成型机床面板操作。

## 一. 项目导读

该工作任务是应用数控电火花机床去除折断在工件中丝锥、钻头。如图 1-1 所示，在钻削小孔和用小丝锥攻螺纹时，由于刀具硬而脆，抗弯、抗扭强度低，往往容易折断在孔中，为了避免工件报废，可采用电火花加工方法去除折断在

工件中的钻头或丝锥。通过该工作任务的学习，使学生对数控电火花机床的相关知识有一个初步的了解，掌握数控电火花机床加工零件的基本步骤和操作方法。

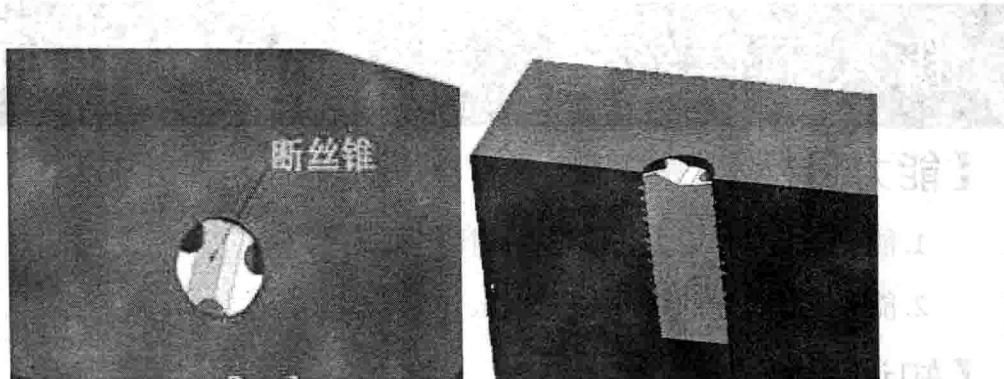
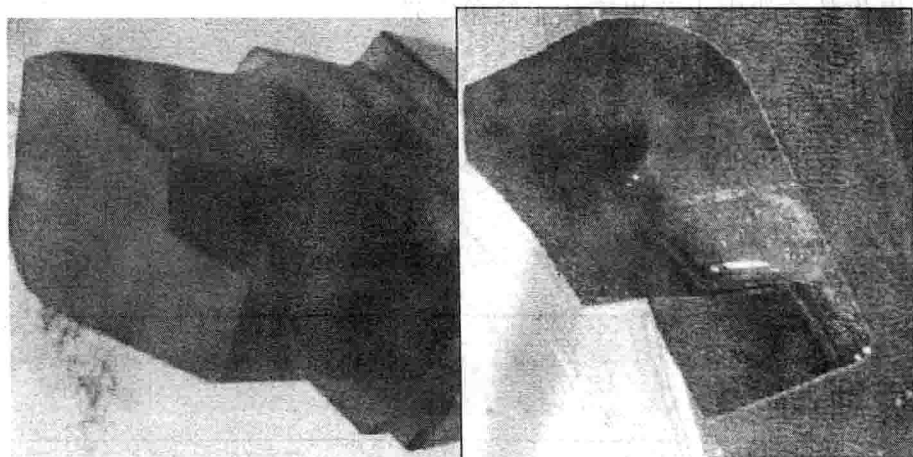


图 1-1 断入工件内部的丝锥

## 二. 相关知识

### (一) 电火花成型机加工的应用范围

1. 普通型腔加工、清角加工应用。用于对切削加工难以加工位置进行补充加工，达到零件要求的尺寸和形状。如图 1-2 所示。



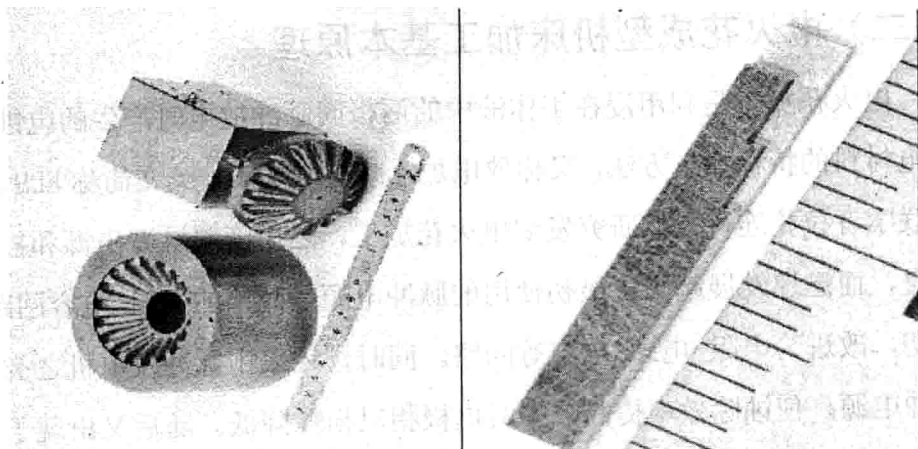


图1-2 铸模、精密插件模零件加工

2. 筋条、小面积镜面的加工应用。如图 1-3 所示。

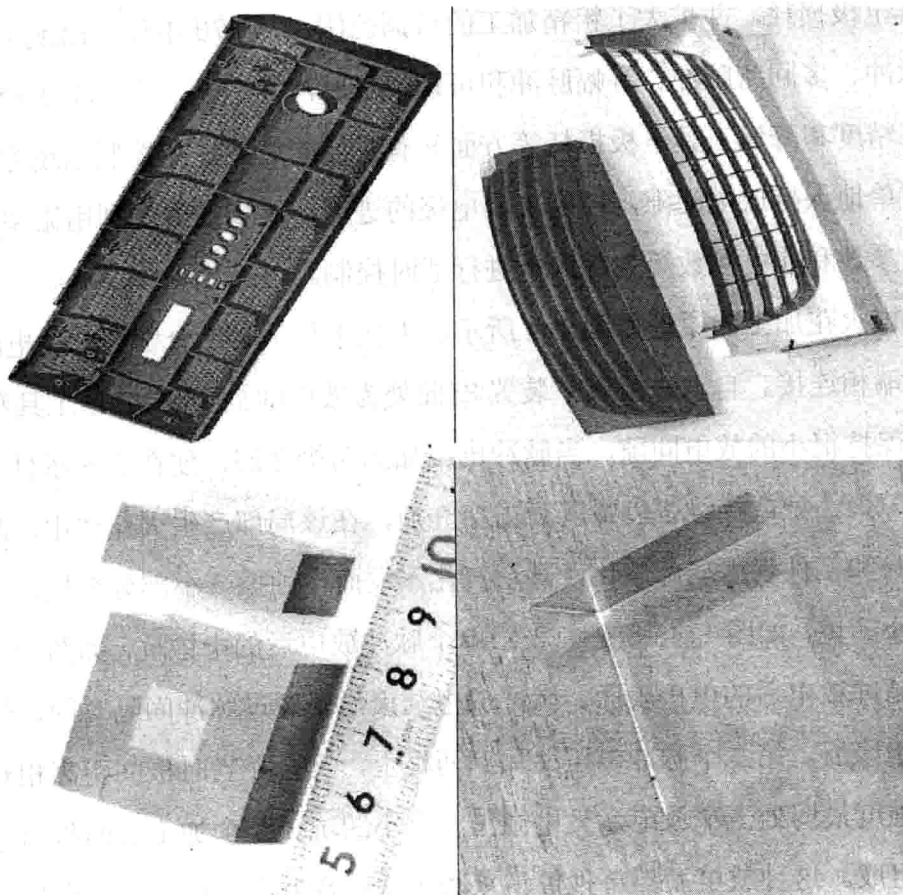


图 1-3筋条、小面积镜面的加工

## (二) 电火花成型机床加工基本原理

电火花加工是利用浸在工作液中的两极间脉冲放电时产生的电蚀作用蚀除导电材料的特种加工方法，又称放电加工或电蚀加工，英文简称 EDM。1943 年，苏联学者拉扎连科夫妇研究发明电火花加工，之后随着脉冲电源和控制系统的改进，而迅速发展起来。最初使用的脉冲电源是简单的电阻-电容回路。50 年代初，改进为电阻-电感-电容等回路。同时，还采用脉冲发电机之类的所谓长脉冲电源，使蚀除效率提高，工具电极相对损耗降低。随后又出现了大功率电子管、闸流管等高频脉冲电源，使在同样表面粗糙度条件下的生产率得以提高。60 年代中期，出现了晶体管和可控硅脉冲电源，提高了能源利用效率和降低了工具电极损耗，并扩大了粗精加工的可调范围。到 70 年代，出现了高低压复合脉冲、多回路脉冲、等幅脉冲和可调波形脉冲等电源，在加工表面粗糙度、加工精度和降低工具电极损耗等方面又有了新的进展。在控制系统方面，从最初简单地保持放电间隙，控制工具电极的进退，逐步发展到利用微型计算机，对电参数和非电参数等各种因素进行适时控制。

电火花加工的原理如图 1-4 所示。工件 1 与工具 1 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(此处为液压油缸和活塞)使工具和工件间经常保持很小的放电间隙，当脉冲电压加到两极之间，便在当时条件下相对某一间隙最小处或绝缘强度最弱处击穿介质，在该局部产生火花放电，瞬时高温使工具和工件表面局部熔化，甚至气化蒸发而电蚀掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑，如图 1-4a 所示，表示单个脉冲放电后的电蚀坑。如图 1-4b 所示，多次脉冲放电后的电极表面。脉冲放电结束后，经过脉冲间隔时间，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。整个加工表面将由无数小凹坑所组成。这种放电循环每秒钟重复数千次到数万次，使工件表面形成许许多多非常小的凹坑，称为电蚀现象。随着工具电极不断进给，工具电极的轮廓尺

寸就被精确地“复印”在工件上，达到成型加工的目的。

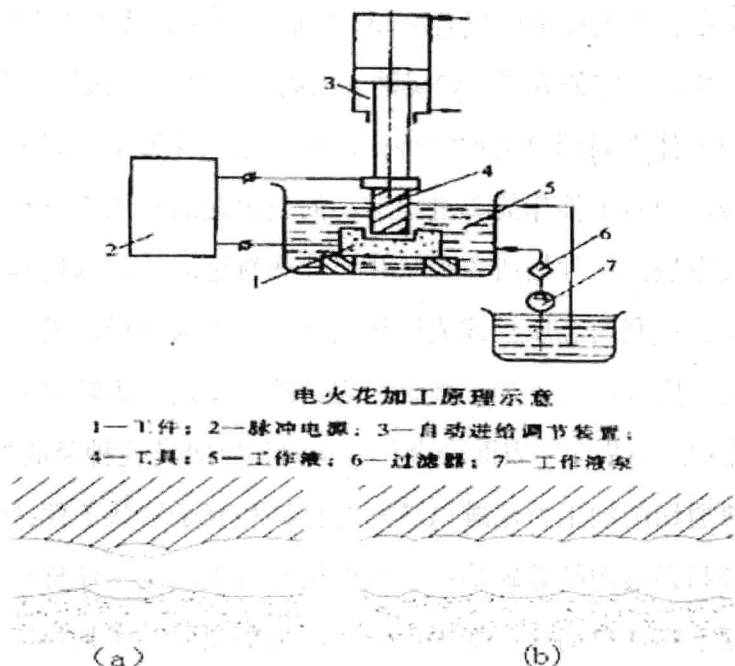


图 1-4 电火花加工表面局部放大

在放电的微细通道中瞬时集中大量的热能，温度可高达一万摄氏度以上，压力也有急剧变化，从而使这一点工作表面局部微量的金属材料立刻熔化、气化，并爆炸式地飞溅到工作液中，迅速冷凝，形成固体的金属微粒，被工作液带走。这时在工件表面上便留下一个微小的凹坑痕迹，放电短暫停歇，两电极间工作液恢复绝缘状态。紧接着，下一个脉冲电压又在两电极相对接近的另一点处击穿，产生火花放电，重复上述过程。这样，虽然每个脉冲放电蚀除的金属量极少，但因每秒有成千上万次脉冲放电作用，就能蚀除较多的金属，具有一定的生产率。在保持工具电极与工件之间恒定放电间隙的条件下，一边蚀除工件金属，一边使工具电极不断地向工件进给，最后便加工出与工具电极形状相对应的形状来。因此，只要改变工具电极的形状和工具电极与工件之间的相对运动方式，就能加工出各种复杂的型面。工具电极常用导电性良好、熔点较高、易加工的耐电蚀材料，如铜、石墨、铜钨合金和钼等。在加工过程中，工

具电极也有损耗，但小于工件金属的蚀除量，甚至接近于无损耗。工作液作为放电介质，在加工过程中还起着冷却、排屑等作用。常用的工作液是粘度较低、闪点较高、性能稳定的介质，如煤油、去离子水和乳化液等。按照工具电极的形式及其与工件之间相对运动的特征，可将电火花加工方式分为五类：利用成型工具电极，相对工件作简单进给运动的电火花成形加工；利用轴向移动的金属丝作工具电极，工件按所需形状和尺寸作轨迹运动，以切割导电材料的电火花线切割加工；利用金属丝或成形导电磨轮作工具电极，进行小孔磨削或成形磨削的电火花磨削；用于加工螺纹环规、螺纹塞规、齿轮等的电火花共轭回转加工；小孔加工、刻印、表面合金化、表面强化等其他种类的加工。电火花加工能加工普通切削加工方法难以切削的材料和复杂形状工件；加工时无切削力；不产生毛刺和刀痕沟纹等缺陷；工具电极材料无须比工件材料硬；直接使用电能加工，便于实现自动化；加工后表面产生变质层，在某些应用中须进一步去除；工作液的净化和加工中产生的烟雾污染处理比较麻烦。

### （三）电火花成型机加工分类

按照电极控制方式分类：数控电火花成型机（如图 1-5 所示）和单轴火花机（如图 1-6 所示）

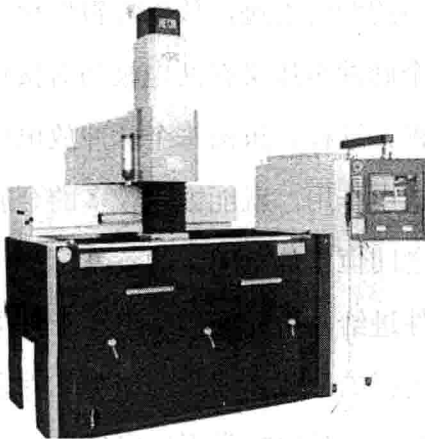


图 1-5 数控电火花成型机

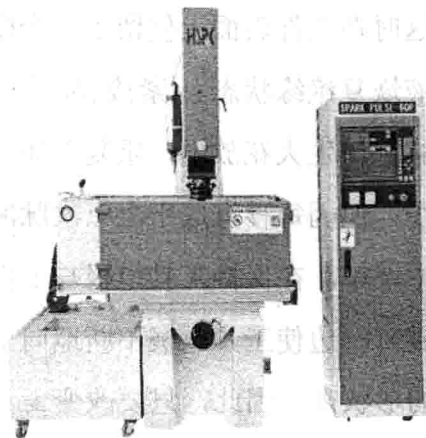


图 1-6 单轴火花机

## （四）电火花成型机加工工艺特点

### 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导电性及其热学特性，如熔点、比热容、沸点（汽化点）、热导率、电阻率等，而几乎与其力学性能（硬度、强度等）无关。这样突破传统切削加工对刀具的限制，实现用软的工具加工硬韧的工件。

### 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。

### 3. 易于实现加工过程自动化

由于是直接利用电能加工，而电能、电参数较机械量易于实现数字控制、适应控制、智能化控制和无人化操作等。

### 4. 可以改进结构设计，改善结构的工艺性

例如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，减少了加工工时和装配工时，延长了使用寿命。

电火花加工也有一定的局限性，具体是：

- （1）只能用于加工金属等导电材料；
- （2）加工速度一般较低；
- （3）存在电极损耗；
- （4）最小角部半径有限制；
- （5）加工表面有变质层甚至微裂纹。

## (五) 电火花加工常用术语

### 1. 放电间隙

放电间隙是放电时工具电极和工件间的距离，它的大小一般在  $0.01 \sim 0.5$  mm 之间，粗加工时间隙较大，精加工时则较小。

### 2. 脉冲宽度 $t_i$ ( $\mu s$ )

脉冲宽度简称脉宽(也常用 ON、TON 等符号表示)，是加到电极和工件上放电间隙两端的电压脉冲的持续时间(如图 1-7 所示)。为了防止电弧烧伤，电火花加工只能用断断续续的脉冲电压波。一般来说，粗加工时可用较大的脉宽，精加工时只能用较小的脉宽。

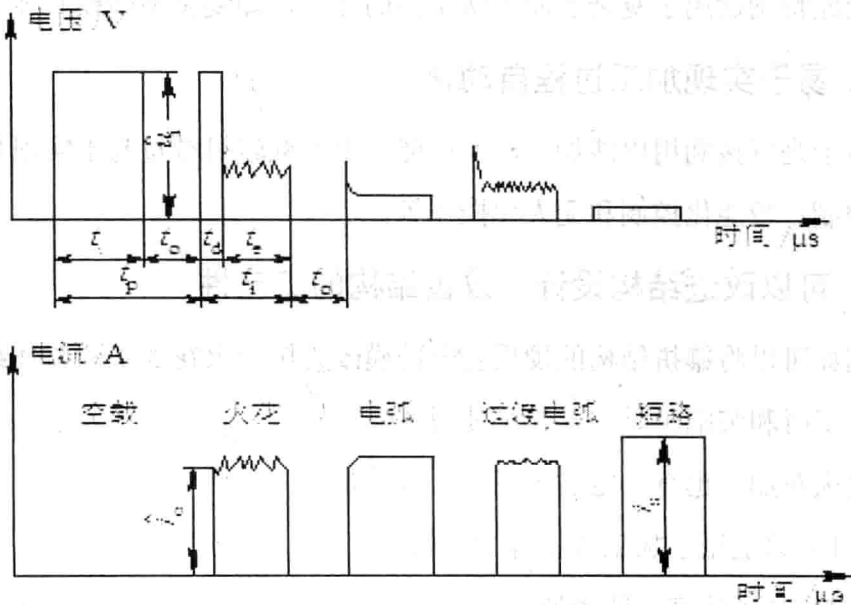


图 1-7 脉冲参数与脉冲电压、电流波形

### 3. 脉冲间隔 $t_o$ ( $\mu s$ )

脉冲间隔简称脉间或间隔(也常用 OFF、TOFF 表示)，它是两个电压脉冲之间的间隔时间(如图所示)。间隔时间过短，放电间隙来不及消电离和恢复绝缘，容易产生电弧放电，烧伤电极和工件；脉间选得过长，将降低加工生产率。加



工面积、加工深度较大时，脉间也应稍大。

#### 4. 放电时间(电流脉宽) $t_c$ ( $\mu s$ )

放电时间是工作液介质击穿后放电间隙中流过放电电流的时间，即电流脉宽，它比电压脉宽稍小，二者相差一个击穿延时  $t_d$ 。  $t_i$  和  $t_c$  对电火花加工的生产率、表面粗糙度和电极损耗有很大影响，但实际起作用的是电流脉宽  $t_c$ 。

#### 5. 击穿延时 $t_d$ ( $\mu s$ )

从间隙两端加上脉冲电压后，一般均要经过一小段延续时间  $t_d$ ，工作液介质才能被击穿放电，这一小段时间  $t_d$  称为击穿延时(见图所示)。击穿延时  $t_d$  与平均放电间隙的大小有关，工具欠进给时，平均放电间隙变大，平均击穿延时  $t_d$  就大；反之，工具过进给时，放电间隙变小，  $t_d$  也就小。

#### 6. 脉冲周期 $t_p$ ( $\mu s$ )

一个电压脉冲开始到下一个电压脉冲开始之间的时间称为脉冲周期，显然  $t_p = t_i + t_c$  (见图 1-7 所示)。

#### 7. 脉冲频率 $f_p$ (Hz)

脉冲频率是指单位时间内电源发出的脉冲个数。显然，它与脉冲周期  $t_p$  互为倒数。

#### 8. 有效脉冲频率 $f_e$ (HZ)

有效脉冲频率是单位时间内在放电间隙上发生有效放电的次数，又称工作脉冲频率。

#### 9. 脉冲利用率 $\lambda$

脉冲利用率  $\lambda$  是有效脉冲频率  $f_e$  与脉冲频率  $f_p$  之比，又称频率比。即：

$$\lambda = \frac{f_e}{f_p}$$

亦即单位时间内有效火花脉冲个数与该单位时间内的总脉冲个数之比。