



机电工程系列丛书

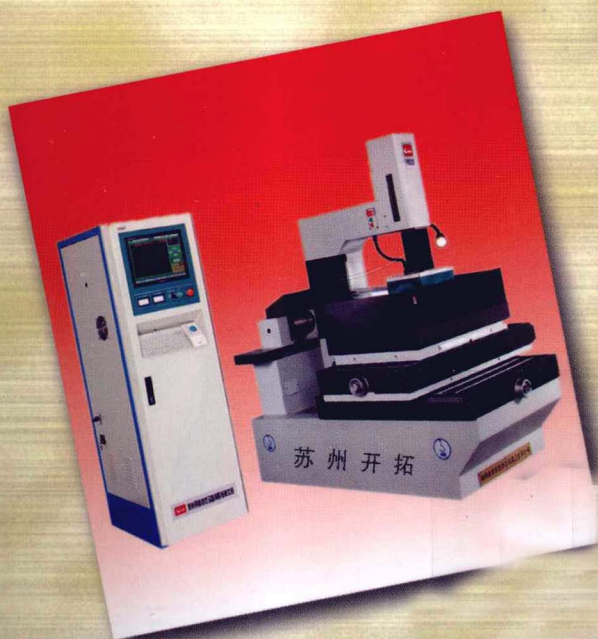
数控电火花线切割加工技术

第3版

SHUKONG DIANHUOHUA XIANQIEGE JIAGONG JISHU

张学仁 主编

刘晋春 主审



哈尔滨工业大学出版社

机电工程系列丛书

数控电火花线切割加工技术

(第3版)

张学仁 主 编

刘晋春 主 审

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

为了适应我国工业技术飞速发展的新形势,满足大专院校学生及从事线切割工程技术人员的需求,哈尔滨工业大学工程训练中心的教师和工程技术人员在多年教学和科研实践经验的基础上编写了《数控电火花线切割加工技术》一书。

其内容包括:数控电火花线切割原理;电火花线切割机床;线切割编程;语言式线切割微机编程;YH 绘图式线切割微机编程;CAXA 绘图式线切割微机编程;美国 ESPRIT 低速走丝绘图式线切割微机编程软件的特点及应用;线切割控制;电火花线切割脉冲电源;电火花线切割工艺;电火花线切割机床的精度检验方法。

本书既可作为大专院校相关专业的教材,又可作为线切割技术培训班的教材,也可作为从事线切割的工程技术人员和工人的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花线切割加工技术/张学仁主编.—3 版.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2010.1

ISBN 978-7-5603-1440-2

I. 数… II. 张… III. 数控线切割-电火花线切割 IV. TG484

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 150274 号

责任编辑 黄菊英 鹿 峰

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 510 千字

版 次 2010 年 1 月第 3 版 2010 年 1 月第 9 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-1440-2

定 价 32.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

第3版前言

本书自2004年修订再版后,至今已重印多次,在线切割的教学和科研中收到了良好的使用效果,深受广大读者欢迎。为了适应线切割技术的发展,更好地满足广大读者的需求,作者又对修订版进行了改编,本次改编对原有基本内容进行了必要的增补和修改,其中第五章和第六章改动较大。

第五章 YH 绘图式线切割微机编程实例改为该公司新开发的 YH - plus 3000 微机编程控制系统实例。第六章 CAXA 线切割 V2 绘图式微机编程,按该公司改进的 CAXA 线切割 XP 绘图式微机编程软件对实例进行了修改。为了初学者方便,仍是通过大量具有代表性的图形进行实例分析介绍。考虑到与计算机框图的显示一致性,框图中的繁体字未作简体处理。

第3版修订由张学仁教授主编,刘晋春教授主审。参加编写的有哈尔滨工业大学张学仁、邢英杰、李冰梅、麦山、赵亚坤、刘华、王笑香、张钢、曾昭阳、邢晓会、李丹、刘景锐,苏州市开拓电子有限公司俞容亨、沈宇。

改编过程中苏州市开拓电子有限公司提供了 YH - plus 3000 微机编程控制卡,特在此表示感谢。

书中不足之处,恳切希望广大读者批评指正。

张学仁

2009年12月

前 言

在我国工业技术飞速发展的新形势下，急需大力发展模具加工技术，而数控电火花线切割加工技术正是模具加工工艺领域中的一种关键技术。目前在电机、仪表等行业新产品的研制和开发过程中，常采用数控电火花线切割方法直接切割出零件，大大缩短了研制周期，并降低了成本。数控电火花线切割加工技术跨越机械、电子及计算机应用等多个学科，是当代机械类学生和工程技术人员必须了解的新技术，但目前的大专院校及中等技术学校大都只讲些基本概念，没时间作深入探讨。这对于从事数控电火花线切割加工的工程技术人员来说是远远不够的，还应要求他们对这项技术进行较深入系统的学习。本书就是为了满足这一要求而编写的。本书既可以作为大专院校和中等技术学校相关专业的教材，也可作为线切割技术培训班的教材，还可以供从事线切割的工程技术人员和工人自学参考。

本书对数控电火花线切割的主要技术进行了较系统的、由浅入深的阐述，突出了线切割编程、控制和工艺等技术的主要方面，并以编程和控制为重点，既着重加强基础内容，又反映其先进性和实用性，尤其注重通过实例来讲述原理、方法及应用。

本书主要内容包括：电火花线切割加工的基本原理；电火花线切割机床；线切割编程；线切割微机编程；线切割控制；电火花线切割脉冲电源；电火花线切割工艺；电火花线切割机床的精度检验方法。

本书主要由哈尔滨工业大学工程训练中心的教师和工程技术人员共同编写。第一、三、五章由张学仁教授编写，第四章 4.1 节由麦山博士编写，第二章由刘景瑞工程师编写，第四章 4.2 节由刘华工程师编写，第六章由李元强讲师编写，第七章由李丹工程师编写，第八章由王笑香工程师编写。全书由张学仁教授主编，刘晋春教授主审。

由于时间仓促，加之编写人员水平有限，书中一定存在不足之处，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

作 者

1999 年 8 月

目 录

第一章 数控电火花线切割加工原理

- 1.1 电火花线切割加工放电的基本原理 (1)
- 1.2 电火花线切割加工走丝原理 (2)
- 1.3 X 、 Y 坐标工作台运动原理 (3)
- 1.4 电火花线切割加工的特点和分类 (4)
- 1.5 主要名词术语 (4)
- 1.6 电火花线切割加工的安全技术规程 (9)
- 1.7 电火花线切割机床的使用规则及维护保养方法 (10)

第二章 电火花线切割机床

- 2.1 数控电火花线切割机床的型号及主要技术参数 (12)
- 2.2 X 、 Y 坐标工作台 (14)
- 2.3 储丝走丝部件的结构 (17)
- 2.4 线架、导轮部件的结构 (21)
- 2.5 工作液系统 (23)
- 2.6 换向断高频、走丝换向调节及超程保险 (25)
- 2.7 进电方式 (25)

第三章 线切割编程

- 3.1 线切割基本编程方法 (27)
- 3.2 编程常用的数学基础 (39)
- 3.3 典型化编程法 (44)
- 3.4 用 $\text{fx}-3900\text{PV}$ 可编程计算器辅助手工编程 (49)

第四章 语言式线切割微机编程

- 4.1 圆、线图形编程部分 (70)
- 4.2 渐开线齿轮编程部分 (83)
- 4.3 非圆曲线编程部分 (84)

第五章 YH-PLus 3000 绘图式线切割微机编程控制系统实例

- 5.1 YH-PLus 3000 绘图式微机编程控制系统的特点及用户界面 (93)
- 5.2 点、直线和圆的输入绘图 (95)
- 5.3 YH-PLus 3000 绘图式线切割微机编程实例 (97)
- 5.4 YH-PLus 3000 微机编程控制系统 (145)

5.5	YH-PLus 3000 微机控制系统	(146)
5.6	二维工件的参数调整及模拟加工	(154)
第六章 CAXA 线切割 XP 绘图式微机编程		
6.1	CAXA 线切割 XP 的特点、基本功能及用户界面	(156)
6.2	点、圆和直线输入方法	(159)
6.3	CAXA 线切割 XP 编程实例	(162)
第七章 美国 ESPRIT 低速走丝绘图式线切割微机编程软件的特点及应用		
7.1	ESPRIT 数控线切割微机编程软件的特点	(213)
7.2	美国 ESPRIT 低速走丝线切割微机编程软件的用户界面	(217)
7.3	ESPRIT 线切割微机编程实例	(219)
第八章 线切割控制		
8.1	逐点比较法控制原理	(253)
8.2	控制框图	(260)
8.3	典型控制器电路分析	(261)
第九章 电火花线切割脉冲电源		
9.1	对脉冲电源的要求及脉冲电源的基本组成	(276)
9.2	典型脉冲电源电路分析	(279)
9.3	脉冲电源的测试与常见故障	(286)
第十章 电火花线切割工艺		
10.1	电火花线切割加工的步骤及要求	(289)
10.2	常用夹具及工件的正确装夹方法	(291)
10.3	线切割工作液对工艺指标的影响	(298)
10.4	电极丝对线切割工艺性能的影响	(300)
10.5	穿丝孔加工及其影响	(305)
10.6	线切割工艺参数的选择	(308)
10.7	电火花线切割加工产生废品的原因及预防方法	(314)
10.8	电火花线切割加工的某些工艺技巧	(315)
第十一章 电火花线切割机床的精度检验方法		
11.1	常用量具	(320)
11.2	机床精度检验	(322)
11.3	机床数控精度检验	(325)
11.4	工作精度	(327)
参考文献		(329)

第一章 数控电火花线切割加工原理

1.1 电火花线切割加工放电的基本原理

电火花线切割加工时，在电极丝和工件之间进行脉冲放电。如图 1.1 所示，电极丝接脉冲电源的负极，工件接脉冲电源的正极。当来一个电脉冲时，在电极丝和工件之间产生一次火花放电，在放电通道的中心温度瞬时可高达 10 000℃ 以上，高温使工件金属熔化，甚至有少量汽化，高温也使电极丝和工件之间的工作液部分产生汽化，这些汽化后的工作

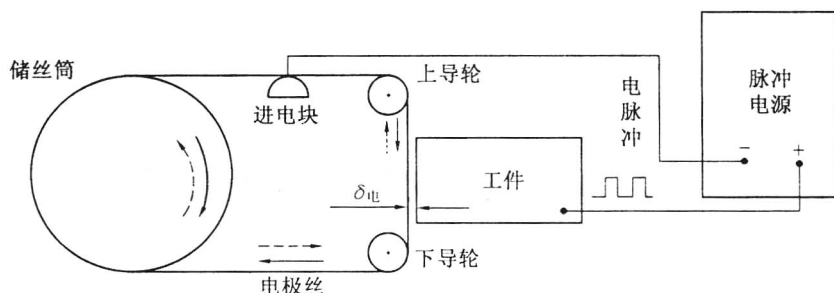


图 1.1 电火花线切割加工原理

液和金属蒸气瞬间迅速热膨胀，并具有爆炸的特性。这种热膨胀和局部微爆炸，抛出熔化和汽化了的金属材料而实现对工件材料进行电蚀切割加工。通常认为电极丝与工件之间的放电间隙 $\delta_{\text{电}}$ 在 0.01 mm 左右，若电脉冲的电压高，放电间隙会大一些。线切割编程时，一般取 $\delta_{\text{电}} = 0.01 \text{ mm}$ 。

为了确保每来一个电脉冲时在电极丝和工件之间产生的是火花放电而不是电弧放电，必须创造必要的条件。首先必须使两个电脉冲之间有足够的时间间隔，使放电间隙中的介质消电离，即使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间隙中介质的绝缘强度，以免总在同一处发生放电而导致电弧放电。一般脉冲间隔应为脉冲宽度的 4 倍以上。

为了保证火花放电时电极丝（一般用钼丝）不被烧断，必须向放电间隙注入大量工作液，以使电极丝得到充分冷却。同时电极丝必须作高速轴向运动，以避免火花放电总在电极丝的局部位置而被烧断，电极丝速度约在 8 ~ 10 m/s 左右。高速运动的电极丝，有利于不断往放电间隙中带入新的工作液，同时也有利于把电蚀产物从间隙中带出去。

电火花线切割加工时，为了获得比较好的表面粗糙度和高的尺寸精度，并保证钼丝不被烧断，应选择好相应的脉冲参数，并使工件和钼丝之间的放电必须是火花放电，而不是电

弧放电。

火花放电与电弧放电的区别如下：

① 电弧放电是由于电极间隙消电离不充分，放电点不分散，多次连续在同一处放电而形成，它是稳定的放电过程，放电时，爆炸力小，蚀除量低。而火花放电是非稳定的放电过程，具有明显的脉冲特性，放电时，爆炸力大，蚀除量高。

② 电弧放电的伏安特性曲线为正值(即随着极间电压的减小，通过介质的电流也减小)，而火花放电的伏安特性曲线为负值(即随着极间电压的减小，通过介质的电流却增加)。

③ 电弧放电通道形状呈圆锥形，阳极与阴极斑点大小不同，阳极斑点小，阴极斑点大，因此，其电流密度也不相同，阳极电流密度为 $2\,800\text{ A/cm}^2$ ，阴极电流密度为 300 A/cm^2 。火花放电的通道形状呈鼓形，阳极和阴极的斑点大小实际相等。因此，两极上电流密度相同，而且很高，可达 $10^5 \sim 10^6\text{ A/cm}^2$ 。

④ 电弧放电通道和电极上的温度约为 $7\,000 \sim 8\,000^\circ\text{C}$ ，而火花放电通道和电极上的温度约为 $10\,000 \sim 12\,000^\circ\text{C}$ 。

⑤ 电弧放电的击穿电压低，而火花放电的击穿电压高。

⑥ 电弧放电中，蚀除量较低，且阴极腐蚀比阳极多，而在火花放电中，大多数情况下是阳极腐蚀量远多于阴极，为此，电火花加工时工件接脉冲电源正极。

1.2 电火花线切割加工走丝原理

一、丝速计算

电极丝线速度 $v_{\text{丝}}$ 的计算公式为

$$v_{\text{丝}} = \frac{\pi D n_{\text{电}}}{1\,000 \times 60} \text{ m/s}$$

图 1.2 中储丝筒直径 $D = 120\text{ mm}$ ，故走丝速度 $v_{\text{丝}}$ 为

$$v_{\text{丝}} = \frac{\pi \times 120 \times 1\,440}{1\,000 \times 60} = 9.50 \text{ m/s}$$

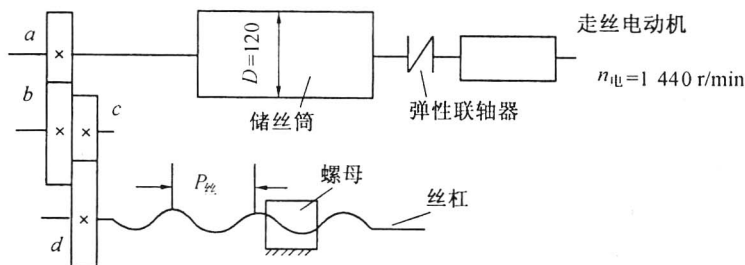


图 1.2 走丝原理

二、走丝部件的储丝筒每转一转时其轴向移动的距离

走丝部件的储丝筒每转一转时，其轴向移动距离为 s ，计算公式为

$$s = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times P_{\text{丝}} \text{ mm/r}$$

图 1.2 的 $a = 28$ 齿、 $b = 88$ 齿、 $c = 28$ 齿、 $d = 88$ 齿、 $P_{\text{丝}} = 2$ mm，则

$$s = \frac{28}{88} \times \frac{28}{88} \times 2 = 0.20 \text{ mm/r}$$

线切割机床的型号不同，或生产厂家不同， s 值也不一样。线切割机床所用钼丝的直径应小于 s ，否则，走丝时会产生叠丝现象而导致断丝。

1.3 X、Y 坐标工作台运动原理

线切割机床编程序时的数据单位是 $1 \mu\text{m}$ ($1/1\,000 \text{ mm} = 1 \mu\text{m}$)，它是步进电动机的控制电路每接受一个变频进给脉冲时，工作台的移动距离，称为脉冲当量。通常每接受一个变频进给脉冲时，步进电动机转动 1.5° ，有的机床步进电动机转动 3° 。

1. 脉冲当量的计算公式

$$\text{脉冲当量} = \frac{1.5 \text{ (或 } 3\text{)}}{360} \times \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_2}{Z_3} \text{ (或 } \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}) \times P_{\text{丝}} \text{ mm}$$

2. 步进电动机每接受一个脉冲时转 3° 的脉冲当量的计算

一种线切割机床： $Z_1 = 18$ 齿， $Z_2 = 54$ 齿， $Z_3 = 150$ 齿， $P_{\text{丝}} = 1$ mm，如图 1.3 (a) 所示。

$$\text{脉冲当量} = \frac{3}{360} \times \frac{18}{54} \times \frac{54}{150} \times 1 = 0.001 \text{ mm}$$

3. 步进电动机每接受一个脉冲时转 1.5° 的脉冲当量计算

另一种线切割机床： $Z_1 = 24$ 齿， $Z_2 = 80$ 齿， $Z_3 = 24$ 齿， $Z_4 = 120$ 齿， $P_{\text{丝}} = 4$ mm，如图 1.3(b) 所示。

$$\text{脉冲当量} = \frac{1.5}{360} \times \frac{24}{80} \times \frac{24}{120} \times 4 = 0.001 \text{ mm}$$

不同厂家所用的齿轮个数、齿轮齿数和 $P_{\text{丝}}$ 可能不一样。

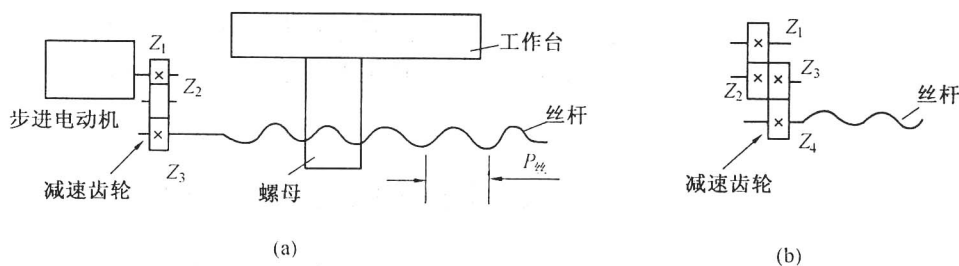


图 1.3 坐标工作台上层的传动

1.4 电火花线切割加工的特点和分类

一、电火花线切割加工的特点

电火花线切割加工与成型加工比较，主要有以下特点：

- ① 不需要制造成型电极，工件材料的预加工量少。
- ② 能方便地加工复杂截面的型柱、型孔、大孔、小孔和窄缝等。
- ③ 脉冲电源的加工电流较小，脉冲宽度较窄，属中、精加工范畴，所以采用正极性加工，即脉冲电源的正极接工件，负极接电极丝。电火花线切割加工基本是一次加工成型，一般不要中途转换规准。
- ④ 由于电极是运动着的长金属丝，单位长度电极丝损耗较小，所以当切割面积的周边长度不长时，对加工精度影响较小。
- ⑤ 只对工件进行图形加工，故余料还可以使用。
- ⑥ 工作液选用水基乳化液，而不是煤油，非但不易引发火灾，而且可以节省能源物资。
- ⑦ 自动化程度高，操作方便，加工周期短，成本低，较安全。

二、电火花线切割加工分类

- ① 按控制方式分，可分为靠模仿型控制、光电跟踪控制、数字程序控制及微机控制等。
- ② 按脉冲电源形式分，可分为 RC 电源、晶体管电源、分组脉冲电源及自适应控制电源等。
- ③ 按加工特点分，可分为大、中、小型以及普通直壁切割型与锥度切割型等。
- ④ 按走丝速度分，可分为低速走丝方式和高速走丝方式。

1.5 主要名词术语

为了便于电加工技术的国内外交流，必须有一套统一的术语、定义和符号。以下术语、定义和符号是根据中国机械工程学会电加工学会公布的材料编写的。

(1) 放电加工

在一定的加工介质中，通过两极(工具电极或简称电极和工件电极或简称工件)之间的火花放电或短电弧放电的电蚀作用来对材料进行加工的方法，叫放电加工(简称 EDM)。放电加工的分类见表 1.1。

(2) 电火花加工

当放电加工只采用脉冲放电(广义火花放电)形式来进行加工时，叫电火花加工。

(3) 电火花穿孔

一般指贯通的二维型孔的电火花加工。它既可以是等截面通孔，又可以是变截面通孔。

(4) 电火花成型

一般指三维型腔和型面的电火花加工，是非贯通的盲孔加工。

(5) 线电极电火花加工

线电极电火花加工是一种用线状电极作工具的电火花加工，它主要应用于切割冲压模具。其特点是电极丝可作单向慢速或正反向快速走丝运动，工件相对电极丝可作 x 、 y 向的任意轨迹运动，它可用靠模、光电或数字等方式控制。

(6) 放电

电流通过绝缘介质(气体、液体或固体)的现象。

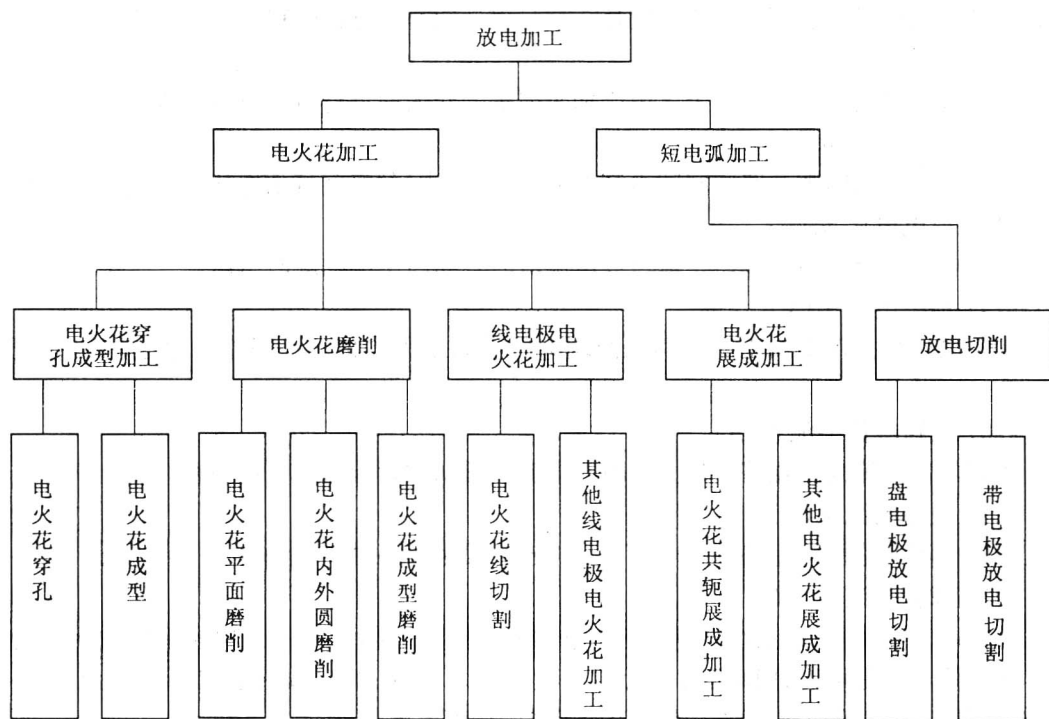
(7) 脉冲放电

脉冲放电是脉冲性的放电，在时间上是断续的，在空间上放电点是分散的，它是电火花加工常采用的放电形式。

(8) 火花放电

从介质击穿后伴随着火花的放电，其特点是火花放电通道中的电流密度很大，温度很高。

表 1.1 放电加工分类



(9) 电弧放电

电弧放电是一种渐趋稳定的放电。这种放电在时间上是连续的，在空间上是集中在一点或一点的附近放电。放电中遇到电弧放电，常常引起电极和工件的烧伤。电弧放电往往是放电间隙中排屑不良，或脉冲间隔过小来不及消电离恢复绝缘，或脉冲电源损坏变成直流放电等所引起的。

(10) 放电通道

放电通道又称电离通道或等离子通道,是介质击穿后极间形成的导电的等离子体通道。

(11) 放电间隙 $G(\mu\text{m})$

放电间隙是指放电时电极间的距离。它是加工电路的一部分,有一个随击穿而变化的电阻。

(12) 电蚀

电蚀是指在电火花放电的作用下蚀除电极材料的现象。

(13) 电蚀产物

电蚀产物是指工作液中电火花放电时的生成物。它主要包括从两电极上电蚀下来的金属材料微粒和工作液分解出来的游离炭黑和气体等。

(14) 加工屑

加工屑是指从两电极上电蚀下来的金属材料微粒小屑。

(15) 金属转移

金属转移是指放电过程中,一极的金属转移到另一极的现象。例如用钼丝切割紫铜时,钼丝表面的颜色逐渐转变成紫铜色,这足以证明有部分铜转移到钼丝表面。

(16) 二次放电

二次放电是指在已加工面上,由于加工屑等的介入而进行再次放电的现象。

(17) 开路电压 $\hat{u}_i(\text{V})$

开路电压是指间隙开路或间隙击穿之前(t_d 时间内)的极间峰值电压,如图1.4所示。

(18) 放电电压 $u_e(\text{V})$

放电电压是指间隙击穿后,流过放电电流时,间隙两端的瞬时电压。

(19) 加工电压 $U(\text{V})$

加工电压是指正常加工时,间隙两端电压的算术平均值。一般指的是电压表上的读数。

(20) 短路峰值电流 $\hat{i}_s(\text{A})$

短路峰值电流是指短路时最大的瞬时电流,即功放管导通而负载短路时的电流。

(21) 短路电流 $I_s(\text{A})$

短路电流又称平均短路脉冲电流,是指连续发生短路时电流的算术平均值。

(22) 峰值电流 $\hat{i}_e(\text{A})$

峰值电流是间隙火花放电时脉冲电流的最大值(瞬时),每一个功放管串联限流电阻后,其峰值电流是可以计算出的,为了安全,一个50 W的功放管选定峰值电流约2~4 A,改变用于加工的功放管数,可改变加工时的峰值电流。

(23) 加工电流 $I(\text{A})$

加工电流是指通过加工间隙电流的算术平均值,即电流表上的读数。

(24) 击穿电压

击穿电压是指放电开始或介质击穿时瞬间的极间电压。

(25) 击穿延时 $t_d(\mu\text{s})$

击穿延时是指从间隙两端加上电压脉冲到介质击穿之前的一段时间。

(26) 脉冲宽度 $t_i(\mu s)$

脉冲宽度是加到间隙两端的电压脉冲的持续时间。对于矩形波脉冲,它等于放电时间 t_e 与击穿延时 t_d 之和。

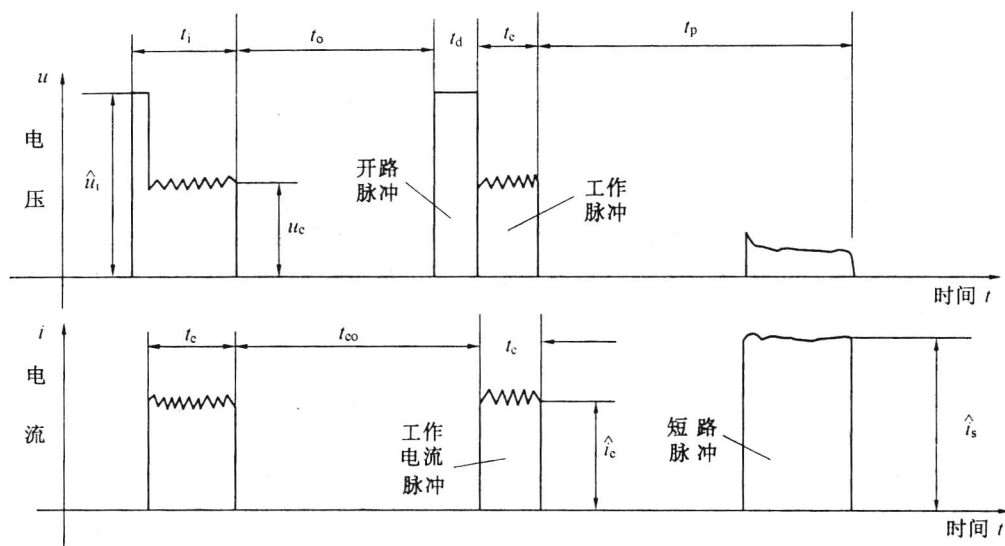


图 1.4 电火花线切割加工时的电压电流波形图

(27) 放电时间 $t_e(\mu s)$

放电时间是指介质击穿后,间隙中通过放电电流的时间,亦即电流脉宽。

(28) 脉冲间隔 $t_o(\mu s)$

脉冲间隔是指连接两个电压脉冲之间的时间。

(29) 停歇时间 $t_{eo}(\mu s)$

停歇时间又称放电间隔,是指相邻两次放电(电流脉冲)之间的时间间隔。对于方波脉冲,它等于脉冲间隔 t_o 与击穿延时 t_d 之和,即

$$t_{eo} = t_o + t_d$$

(30) 脉冲周期 $t_p(\mu s)$

脉冲周期是指从一个电压脉冲开始到相邻电压脉冲开始之间的时间。它等于脉冲宽度 t_i 与脉冲间隔 t_o 之和,即

$$t_p = t_i + t_o$$

(31) 脉冲频率 $f_p(\text{Hz})$

脉冲频率是指单位时间(s)内,电源发出电压脉冲的个数。它等于脉冲周期 t_p 的倒数,即

$$f_p = \frac{1}{t_p}$$

(32) 电参数

电参数是指电加工过程中的电压、电流、脉冲宽度、脉冲间隔、功率和能量等参数。

(33) 脉冲前沿 $t_r(\mu s)$

脉冲前沿又称脉冲上升时间,指电流脉冲前沿的上升时间,即从峰值电流的 10% 上升到 90% 所需的时间(见图 1.5)。

(34) 脉冲后沿 $t_f(\mu s)$

脉冲后沿又称脉冲下降时间,指电流脉冲后沿的下降时间,即从峰值电流的 90% 下降到 10% 所需的时间(见图 1.5)。

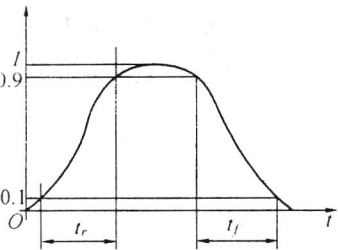


图 1.5 电流波形图

(35) 开路脉冲

开路脉冲是指间隙未被击穿时的电压脉冲,这时没有脉冲电流。

(36) 工作脉冲。工作脉冲又称有效放电脉冲或正常放电脉冲,这时既有电压脉冲又有电流脉冲。

(37) 短路脉冲

短路脉冲是指间隙短路时的电流脉冲,这时没有脉冲电压。

(38) 极性效应

电火花(线切割)加工时,即使正极和负极是同一种材料,正负两极的蚀除量也是不同的,这种现象称为极性效应。一般短脉冲加工时,正极的蚀除量较大,反之,长脉冲加工时,负极的蚀除量较大。为此,短脉冲精加工时,工件接正极,反之,长脉冲粗加工时,工件接负极。

(39) 正极性和负极性

工件接正极,工具电极接负极,称正极性。反之,工件接负极,工具电极接正极,称为负极性(又称反极性)。线切割加工时,所用脉冲宽度较窄,为了增加切割速度和减少钼丝的损耗,一般工件应接正极,称正极性加工。

(40) 切割速度 v_{wi}

切割速度是指在保持一定的表面粗糙度的切割过程中,单位时间内电极丝中心线在工件上扫过的面积的总和(mm^2/min)。

(41) 高速走丝线切割(WEDM-HS)

高速走丝线切割是指电极丝高速往复运动的电火花线切割加工。一般走丝速度在 8 ~ 10 m/s 以内。

(42) 低速走丝线切割

低速走丝线切割(WEDM-LS)是指电极丝低速单向运动的电火花线切割加工。一般走丝速度在 10 ~ 15 m/min 以内。

(43) 线径补偿

线径补偿又称“间隙补偿”或“钼丝偏移”,是指为获得所要求的加工轮廓尺寸,数控系统对电极丝运动轨迹轮廓所做的偏移补偿。

(44) 线径补偿量

线径补偿量又称间隙补偿量或偏移量,是指电极丝几何中心实际运动轨迹与编程轮廓线之间的法向尺寸差值(mm)。

(45) 进给速度 v_F

进给速度是指加工过程中电极丝中心沿切割方向相对于工件的移动速度(mm/min)。

(46) 多次切割

多次切割是指同一表面先后进行两次或两次以上的切割,以改善表面质量及加工精度的切割方法。

(47) 锥度切割

锥度切割是指钼丝以一定的倾斜角进行切割的方法。

(48) 乳化液

乳化液是指由水、有机和无机化合物组成的乳化溶液,用于电火花线切割加工。

(49) 条纹

条纹是指被切割工件表面上出现的相互间隔凹凸不平或色彩不同的痕迹。当导轮、轴承精度不良时,条纹更为严重。

(50) 电火花加工表面

电火花加工表面是指电火花加工过的由许多小凹坑重叠而成的表面(图 1.6)。

(51) 电火花加工表层

电火花加工表层是指电火花加工表面下的一层,它包括熔化层和热影响层(图 1.6)。

(52) 热影响层(HAZ)

热影响层(HAZ)是指位于熔化层下面的、由于热作用改变了基体金属金相组织和性能的一层金属(图 1.6)。

(53) 基体金属。基体金属是指位于热影响层下面的、未改变金相组织和性能的原来基体的金属(图 1.6)。

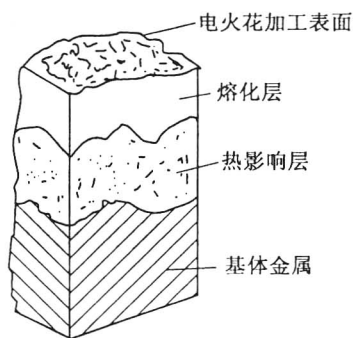


图 1.6 电火花加工表面与表层

1.6 电火花线切割加工的安全技术规程

作为电火花线切割加工的安全技术规程,可从两个方面考虑:一方面是人身安全;另一方面是设备安全。具体有以下几点:

① 操作者必须熟悉线切割机床的操作技术,开机前应按设备润滑要求,对机床有关部位注油润滑(润滑油必须符合机床说明书的要求)。

② 操作者必须熟悉线切割加工工艺,恰当地选取加工参数,按规定操作顺序操作,防止造成断丝等故障。

③ 用摇手柄操作储丝筒后,应及时将摇手柄拔出,防止储丝筒转动时将摇手柄甩出伤人。装卸电极丝时,注意防止电极丝扎手。换下来的废丝要放在规定的容器内,防止混入电路和走丝系统中,造成电器短路、触电和断丝等事故。注意防止因丝筒惯性造成断丝及传动件碰撞。为此,停机时,要在储丝筒刚换向后再尽快按下停止按钮。

④ 正式加工工件之前,应确认工件位置已装夹正确,防止碰撞丝架和因超程撞坏丝杆、螺母等传动部件。对于无超程限位的工作台,要防止超程坠落事故。

⑤ 尽量消除工件的残余应力,防止切割过程中工件爆裂伤人。加工之前应安装好防

护罩。

⑥ 机床附近不得放置易燃、易爆物品，防止因工作液一时供应不足产生的放电火花引起事故。

⑦ 在检修机床、机床电器、脉冲电源、控制系统时，应注意适当地切断电源，防止触电和损坏电路元件。

⑧ 定期检查机床的保护接地是否可靠，注意各部位是否漏电，尽量采用防触电开关。合上加工电源后，不可用手或手持导电工具同时接触脉冲电源的两输出端(床身与工件)，以防触电。

⑨ 禁止用湿手按开关或接触电器部分。防止工作液等导电物进入电器部分，一旦发生因电器短路造成火灾时，应首先切断电源，立即用四氯化碳等合适的灭火器灭火，不准用水救火。

⑩ 停机时，应先停高频脉冲电源，后停工作液，让电极丝运行一段时间，并等储丝筒反向后再停走丝。工作结束后，关掉总电源，擦净工作台及夹具，并润滑机床。

1.7 电火花线切割机床的使用规则及维护保养方法

一、电火花线切割机床的使用规则

线切割机床是技术密集型产品，属于精密加工设备，操作人员在使用机床前必须经过严格的培训，取得合格的操作证明后才能上机工作。

为了安全、合理和有效地使用机床，要求操作人员必须遵守以下几项规则：

- ① 对自用机床的性能、结构有较充分的了解，能掌握操作规程和遵守安全生产制度。
- ② 在机床的允许规格范围内进行加工，不要超重或超行程工作。
- ③ 经常检查机床的电源线、超程开关和换向开关是否安全可靠，不允许带故障工作。
- ④ 按机床操作说明书所规定的润滑部位，定时注入规定的滑润油或润滑脂，以保证机构运转灵活，特别是导轮和轴承，要定期检查和更换。
- ⑤ 加工前检查工作液箱中的工作液是否足够，水管和喷嘴是否通畅。
- ⑥ 下班后清理工作区域，擦净夹具和附件等。
- ⑦ 定期检查机床电气设备是否受潮和可靠，并清除尘埃，防止金属物落入。
- ⑧ 遵守定人定机制度，定期维护保养。

二、电火花线切割机床的保养方法

线切割机床维护保养的目的是为了保持机床能正常可靠地工作，延长其使用寿命。一般的维护保养方法是：

(1) 定期润滑

线切割机床上需定期润滑的部位主要有机床导轨、丝杠螺母、传动齿轮、导轮轴承等，一般用油枪注入。轴承和滚珠丝杠如有保护套式的，可以经半年或一年后拆开注油。

(2) 定期调整

对于丝杠螺母、导轨及电极丝挡块和进电块等，要根据使用时间、间隙大小或沟槽深