



全国高等职业教育规划教材

电加工实训教程

唐秀兰 王 乐 主编



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电加工实训教程

主 编	唐秀兰	王 乐	
副主编	李文平	熊保玉	杨素华
参 编	唐琼英	洪小英	林建兵
主 审	杨华明		

机械工业出版社

本书为校企合作编写的理实一体化教材,主要采用项目导向、任务驱动,模块化教学的模式组织教学内容,全书共分两个模块8个项目。

每个项目的选取是参照电切削工(含线切割工、电火花机操作工)国家职业资格标准,结合企业调研,以典型零件为载体,以工作过程为导向,并根据学生的认知规律和职业能力成长规律,按由易到难、由浅入深、由单一到综合来组织教学内容的。通过8个项目的学习,使学生掌握零件的线切割与电火花成形加工的技术与技能,做到“懂工艺、能编程、会操作”。

本书可作为高等职业院校模具专业教材,同时也可作为机械类专业的选用教材,不同专业可根据教学目标和学时来选择具体的模块和项目。本书也适用于中等职业学校机械类专业,也可作为广大工程技术人员的学习和参考用书。

为配合教学,本书配有电子课件,读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369,电话(010) 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

电加工实训教程/唐秀兰,王乐主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 7

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 46388 - 7

I. ①电… II. ①唐…②王… III. ①电火花加工—高等职业教育—教材 IV. ①TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 067891 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘闻雨 版式设计:赵颖喆

责任校对:刘怡丹 责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 10.5 印张 · 246 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 46388 - 7

定价: 24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心: (010) 88361066 教 材 网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材机电类专业 委员会成员名单

主 任	吴家礼					
副 主 任	任建伟	张 华	陈剑鹤	韩全立	盛靖琪	谭胜富
委 员	(按姓氏笔画排序)					
	王启洋	王国玉	王建明	王晓东	代礼前	史新民
	田林红	龙光涛	任艳君	刘靖华	刘 震	吕 汀
	纪静波	何 伟	吴元凯	张 伟	李长胜	李 宏
	李柏青	李晓宏	李益民	杨士伟	杨华明	杨 欣
	杨显宏	陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军	金卫国
	奚小网	徐 宁	陶亦亦	曹 凤	盛定高	程时甘
	韩满林					
秘 书 长	胡毓坚					
副秘书长	郝秀凯					

出版说明

根据“教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见”中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本书为校企合作编写的理实一体化教材，在四川信息职业技术学院《电加工实训》院级精品课程、自编教材《电加工实训指导书》和配套《电加工实训报告册》的基础上修订增补而成。在编写过程中，从初学者的角度出发，本着知识的“必须、适用、够用”的编写原则和“通俗、精练、重操作”的编写风格，以学生的实际操作技能为着眼点，采用项目式教学，每个项目主要采用基于工作过程的“项目导向、任务驱动”“理论与实践一体化”的教学模式组织教学内容。不同专业可根据教学目标和学时来选择具体的模块和项目，本书适用面广，可操作性强。

全书共分两个模块8个项目，模块一为零件的线切割编程与加工，其中包含：项目1凸模类零件的线切割编程与加工，项目2凹模类零件的线切割编程与加工，项目3模板镶件（凸凹模）的线切割编程与加工，项目4基准件与配合件的线切割编程与加工，项目5锥度与异面类零件的线切割编程与加工，项目6拓展知识，共6个项目。模块二为零件的电火花成形加工，其中包含：项目7不通孔的电火花成形加工，项目8型腔的电火花成形加工，共两个项目。本书参照电切削工（含线切割工、电火花机操作工）国家职业资格标准，结合企业调研，以典型零件为载体，以工作过程为导向，并根据学生的认知规律和职业能力成长规律，按由易到难、由浅入深、由单一到综合来组织教学内容。通过8个项目的学习，使学生能够掌握零件的线切割与电火花成形加工的技术与技能，做到“懂工艺、能编程、会操作”。

本书主要特点是依据国家职业资格标准选择教学内容，遵循循序渐进的规律；以真实零件为载体设计学习项目，每个学习项目的实施都是一个完整的工作过程，保证学习内容与工作内容的一致性，以及学习过程与工作过程的一致性；每个项目学习后，要求学生自己设计加工零件，并严格按照评分标准评定成绩，以提高学生学习的积极主动性。

本书提供电子课件，并有配套的实训报告册，以及课后思考题和线切割工、电切削工的考试大纲和测试题。本书还配有丰富的教学资源，包括教案、课件、课程讲义、动画视频和在线测试等内容，可供学生自主学习，具体内容可查看四川信息职业技术学院的《电加工实训》精品课程网站（<http://jpke.scitc.com.cn/courseInfor.php?courseID=58>）。

本书由四川信息职业技术学院唐秀兰、王乐任主编。唐秀兰负责本书的策划、统稿及项目1（除1.3.2节）、项目2及附录A~D的编写，王乐编写了项目7、项目8及附录E和F。四川信息职业技术学院李文平、熊保玉和武汉城市职业学院杨素华任副主编。李文平编写了项目5，熊保玉编写了项目6的课题1、2、3及1.3.2节，杨素华编写了项目3。四川信息职业技术学院唐琼英、洪小英、林建兵任参编。唐琼英编写了项目4、洪小英编写了项目6的课题4，林建兵参与了资料收集与部分图形绘制。杨华明任主审。在编写过程中，得到了广元建平机电工业有限责任公司贾学萍提供的大量素材和技术支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

目 录

出版说明

前言

模块一 零件的线切割编程与加工

项目1 凸模类零件的线切割编程与

加工 1

课题1 电火花线切割加工概述 2

1.1.1 电火花加工概念 2

1.1.2 电火花加工原理 2

1.1.3 电火花加工的基本规律 3

1.1.4 电火花加工的特点 4

1.1.5 电火花加工的工艺类型及适用范围 4

1.1.6 电火花线切割的原理、特点与应用范围 5

课题2 电火花线切割加工的设备类型及组成 6

1.2.1 电火花线切割加工的设备类型 6

1.2.2 电火花线切割加工设备的组成 8

1.2.3 线切割机床的安全操作规程 11

课题3 线切割手工编程与调试 11

1.3.1 3B 代码编程 11

1.3.2 G 代码编程 16

课题4 线切割工艺 21

1.4.1 偏移量的确定 21

1.4.2 引入线、引出线位置与加工路线的选择 22

课题5 线切割自动编程 23

1.5.1 绘图 23

1.5.2 生成加工轨迹 24

1.5.3 生成代码 27

1.5.4 程序传输 28

课题6 机床基本操作 28

1.6.1 现场了解线切割机床的组成及功能 28

1.6.2 现场了解机床控制面板及开关 30

1.6.3 脉冲参数的调节 31

1.6.4 机床工作前应作的检查 33

1.6.5 线切割机床的基本操作顺序 33

课题7 线切割加工中常见问题及处理方法 34

1.7.1 操作中常见故障及处理方法 34

1.7.2 断丝的原因及处理方法 35

1.7.3 短路的原因及处理方法 36

1.7.4 影响工件表面质量的因素及解决方法 36

课题8 完成凸模类零件的编程与加工 36

[思考与练习] 38

项目2 凹模类零件的线切割编程与加工 39

课题1 凹模类零件的切割工艺与编程技巧 39

2.1.1 单型孔零件的程序编制 39

2.1.2 多型孔零件的程序编制 40

课题2 工件的装夹、找正与定位 41

2.2.1 工件的装夹与找正 41

2.2.2 穿丝与储丝筒行程开关的调节 42

2.2.3 电极丝的选择与定位 42

课题3 完成凹模类零件的编程与加工 45

[思考与练习] 47

项目3 模板镶件（凸凹模）的线切割编程与加工 48

课题1 模板镶件的切割工艺与编程技巧 49

3.1.1 绘图 49

3.1.2 生成轨迹 49

3.1.3 生成代码 50

课题2 模板镶件的加工 50

3.2.1 加工模板镶件的注意事项 50

3.2.2 完成模板镶件的编程与加工 50

[思考与练习] 52

项目4 基准件与配合件的线切割编程与加工 53

课题1 基准件与配合件的切割工艺与编程

技巧	54
4.1.1 基准件的程序编制	54
4.1.2 配合件的程序编制	54
课题2 完成基准件与配合件的编程与加工	54
[思考与练习]	57
项目5 锥度与异面类零件的线切割编程与加工	58
课题1 HF 系统线切割软件介绍	59
5.1.1 HF 系统线切割软件的基本术语和约定	59
5.1.2 HF 系统软件界面及功能模块介绍	59
课题2 HF 系统锥度类零件的编程方法	62
5.2.1 锥度零件图形的绘制	62
5.2.2 生成加工轨迹及加工代码	64
5.2.3 锥度零件加工轨迹的模拟	67
课题3 HF 系统异面类零件的编程方法	68
5.3.1 HGT 图形文件准备	68
5.3.2 异面合成	69
5.3.3 生成加工单及存盘	69
5.3.4 异面零件加工轨迹模拟	70
课题4 HF 系统机床操作方法介绍	70
5.4.1 HF 系统加工界面介绍	70
5.4.2 HF 系统锥度异面零件加工	74
课题5 北京迪蒙卡特线切割机床锥度异面的编程方法	75
5.5.1 北京迪蒙卡特线切割机床锥度异面的编程规则	75
5.5.2 编程举例	76
课题6 完成锥度与异面类零件的编程与加工	78
[思考与练习]	79
项目6 拓展知识	80
课题1 齿轮的电火花线切割编程与加工	80
6.1.1 工艺分析	80
6.1.2 程序编制	80
6.1.3 齿轮的加工要点	82
课题2 文字的线切割编程与加工	82
6.2.1 工艺分析	83

6.2.2 程序编制	83
6.2.3 文字的加工要点	84
课题3 矢量图的线切割编程与加工	84
6.3.1 工艺分析	85
6.3.2 程序编制	85
课题4 成形车刀的线切割编程与加工	86
6.4.1 工艺分析	86
6.4.2 程序编制	86
6.4.3 加工要点	88
[思考与练习]	89

模块二 零件的电火花成形加工

项目7 盲孔的电火花成形加工	90
课题1 电火花成形加工概述	91
7.1.1 电火花成形加工原理	91
7.1.2 电火花成形加工电参数选择的一般规律	91
7.1.3 电火花成形加工常用电极材料的种类、极性选择及制造	92
7.1.4 电火花成形加工的特点	93
7.1.5 电火花成形加工的应用范围	94
7.1.6 电火花成形机床的分类	94
7.1.7 电火花成形机床的结构	95
课题2 电火花成形机床的基本操作	98
7.2.1 现场了解电火花成形机床的结构	98
7.2.2 现场了解电火花成形机床的控制面板	100
7.2.3 系统介绍	101
7.2.4 程序编辑	102
7.2.5 放电条件说明	103
课题3 盲孔电火花成形加工工艺与机床操作	107
7.3.1 电极的结构	107
7.3.2 电极的装夹与校正	107
7.3.3 工件的装夹和校正	108
7.3.4 工件坐标系的设定	108
7.3.5 执行加工操作	109
7.3.6 电火花成形加工去除断在工件内的丝锥的工艺分析	110
7.3.7 机床的安全与维护	110
7.3.8 电火花成形加工的技巧	111

课题4 完成盲孔的电火花成形加工	111
[思考与练习]	113
项目8 型腔的电火花成形加工	114
课题1 电火花成形加工工艺与机床 操作	114
8.1.1 电极的结构	114
8.1.2 电极、工件的装夹和校正	115
8.1.3 工件坐标系的设定	116
8.1.4 执行加工的操作步骤	117
课题2 完成型腔的电火花成形加工	117
[思考与练习]	119

附录	120
附录A 线切割工考试大纲	120
附录B 电火花机操作工考试大纲	126
附录C 线切割工理论知识测试题	131
附录D 线切割工技能测试题	133
附录E 电火花机操作工理论知识 测试题	137
附录F 参考答案	139
参考文献	142
电加工实训报告册	143

模块一 零件的线切割编程与加工

项目1 凸模类零件的线切割编程与加工

➤ 项目内容

在本项目中，要完成如图 1 - 1 所示凸模类零件的加工。已知：材料为 45 钢，厚度为 8mm。

1. 零件图形

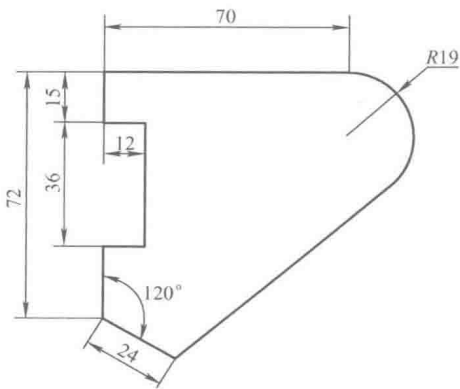


图 1 - 1 凸模类零件

2. 编程与加工要求

- 1) 根据电极丝实际直径，正确计算偏移量。
- 2) 根据图形特点，正确选择引入线位置和切割方向。
- 3) 根据材料种类和厚度，正确设置脉冲参数。
- 4) 根据程序的引入位置和切割方向，正确装夹工件和定位电极丝。
- 5) 操作机床，进行零件加工。

➤ 知识点

为了完成上述零件的加工，本项目着重讲述如下课题。

- 课题 1 电火花线切割加工概述
- 课题 2 电火花线切割加工的设备类型及组成
- 课题 3 线切割手工编程与调试

- 课题4 线切割工艺
- 课题5 线切割自动编程
- 课题6 机床基本操作
- 课题7 线切割加工中常见问题及处理方法
- 课题8 完成凸模类零件的编程与加工

➤ 学习内容

课题1 电火花线切割加工概述

1.1.1 电火花加工概念

电火花加工又称为放电加工（英文简称 EDM），是一种直接利用电能和热能进行加工的工艺。它与金属切削加工的原理完全不同，在加工过程中，工具与工件不直接接触，而是靠工具和工件之间不断产生脉冲性的火花放电，通过放电产生的局部、瞬时的高温将金属腐蚀下来。这种利用火花放电时产生的电腐蚀现象对金属材料进行加工的方法称为电火花加工。

1.1.2 电火花加工原理

电火花加工是通过工件和工具电极相互靠近时极间形成脉冲性火花放电，在电火花通道中产生瞬时高温，使金属局部熔化，甚至气化，从而将金属腐蚀下来，达到按要求改变材料形状和尺寸的加工工艺。电火花加工原理如图 1-2 所示，这一过程大致分为以下几个阶段。

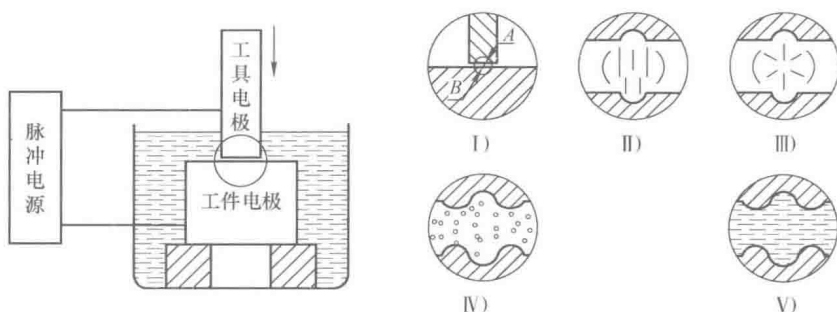


图 1-2 电火花加工原理

1. 极间介质的电离、击穿，形成放电通道

工具电极与工件电极缓慢靠近，极间的电场强度越来越大，由于两电极的微观表面是凹凸不平的，因此在两极间距离最近的 A、B 两点的初电场强度最大，如图 1-2 I 所示。液体介质在强大的电场作用下，形成了带负电的粒子和带正电的粒子，电场强度越大带电粒子就越多，最终导致液体介质电离、击穿，形成放电通道。

2. 介质热分解、电极材料熔化、气化热膨胀

形成放电通道后，通道间带负电的粒子在电场的加速作用下奔向正极，带正电的粒子在

电场作用下奔向负极，这一过程中粒子间相互撞击，使得通道瞬间达到很高的温度。使工作液汽化，进而气化，然后高温向四周扩散，使两电极表面的金属材料开始熔化直至沸腾气化。气化后的工作液和金属蒸气瞬间体积急剧膨胀，形成了爆炸性的特性，如图 1-2 II、III 所示。

3. 电极材料的抛出

正、负电极间产生的电火花现象，使放电通道产生高温高压。通道中心的压力最高，工作液和金属气化后不断向外膨胀，形成内外瞬间压力差，高压力的熔融金属液体和蒸气被排挤，抛出放电通道，大部分被抛出到工作液中，如图 1-2 IV 所示。

4. 电极介质的消电离

若电火花放电过程中产生了电蚀产物来不及排除和扩散，则产生的热量将不能及时传出，使该处介质局部过热，局部过热的工作液高温分解、积碳，使得加工无法继续进行，并烧坏电极。因此为了保证电火花加工过程的正常进行，在两次放电之间必须有足够的时间间隔让电蚀产物充分排除，恢复放电通道的绝缘性，使工作液介质消电离，如图 1-2 V 所示。

1.1.3 电火花加工的基本规律

1. 极性效应

试验证明，在电火花加工过程中，无论是正极还是负极，都会受到不同程度的电蚀。这种由于正负极性不同，而产生彼此电蚀量不同的现象，称为极性效应。

产生极性效应的直接原因是在放电过程中，由于两电极表面分配到的能量不同，因而电蚀量也不一样。因为电子的质量和惯性都小，容易获得很高的加速度和速度，在机床放电的初级阶段就有大量的电子奔向正极，把能量传递给阳极表面，使电极材料迅速熔化和气化。而正离子质量大，惯性大，加速慢，到达负极表面的只有一小部分。所以在用短脉冲（短脉宽）加工时，电子的轰击作用大于正离子的轰击作用，正电极的电蚀量大于负极的电蚀量，这时工件应接正极。

当选用长脉冲（长脉宽）加工时，质量和惯性都大的正离子将有足够的时间到达负极表面，由于正离子的质量大，它对负极表面的轰击破坏作用要比电子强，同时到达负极的正离子又会牵制电子的运动，故负极的电蚀量将大于正极，这时工件应接负极。

在生产中，将工件电极接脉冲电源正极（工具电极接负极）称为正极性接法；将工件电极接脉冲电源负极（工具电极接正极）称为负极性接法，如图 1-2 所示。本书后面讲述的线切割加工，受加工表面的表面粗糙度和电极丝允许承载电流的限制，其脉冲电源的脉宽较窄（ $2 \sim 60 \mu s$ ），单个脉冲能量、平均电流一般较小，所以线切割加工通常采用正极性接法。电火花成形加工主要根据电极材料选择接线方法。

2. 电腐蚀的影响

影响电腐蚀的因素很多，除了以上所讲的极性效应和受脉冲电源参数的影响外，还要受到正极吸附、电极材料、切削液等的影响。

要充分利用极性效应，正确的选用极性，最大限度地降低电极损耗外，还应合理选用电极材料，根据电极材料的物理性能和加工要求选择最佳的脉冲电源参数，使工件的加工速度最高，工具损耗尽可能小。

1.1.4 电火花加工的特点

1. 电火花加工与切削加工的区别（见表 1-1）

表 1-1 电火花加工与切削加工的区别

加工方式 比较项目	电火花加工	切削加工
材料要求	工具电极的硬度可以低于工件	工具（刀具）比工件硬
接触方式	工具电极与工件不接触	工具一定要与工件接触
加工能源	电能、热能	机械能

2. 电火花加工的优点

- 1) 可以加工难以用金属切削方法加工的零件，不受材料硬度影响。
- 2) 由于加工时，工具电极与工件不接触，没有机械切削力，工具电极可以做得十分细微，能进行细微加工和复杂型面加工。
- 3) 由于采用电能、热能加工，脉冲电源参数较机械量易于数字控制、适应控制，便于实现自动化和无人化操作。

3. 电火花加工的局限性

- 1) 只能加工金属等导电材料。
- 2) 一般加工效率较低。
- 3) 存在电极损耗。
- 4) 加工表面有变质层，在某些使用场合要去除。

1.1.5 电火花加工的工艺类型及适用范围

按工具电极和工件相对运动的方式和用途的不同，电火花加工主要可分为以下 6 大类。

- 1) 电火花穿孔成形加工。
- 2) 电火花线切割加工。
- 3) 电火花磨削和镗磨加工。
- 4) 电火花高速小孔加工。
- 5) 电火花同步共轭加工。
- 6) 电火花表面强化与刻字。

前 5 种属于电火花成形、尺寸加工，是用于改变工件形状和尺寸的加工方法；最后一种则属于表面加工方法，用于改善或改变零件表面性质。其中，电火花穿孔成形加工和电火花线切割加工应用最为广泛。本书重点讲述电火花成形加工和电火花线切割加工。表 1-2 为总的分类情况及各种加工方法的主要特点和适用范围。

表 1-2 电火花加工的工艺类型

类别	工艺类型	主要特点	适用范围	备 注
1	电火花穿孔成形加工	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工件	约占电火花机床总数的 30%, 典型机床有 D7125、D7140 等电火花穿孔成形机床
2	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 数控电火花线切割机床
3	电火花内孔、外圆和成形磨削	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) 加工精度高、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、小模数滚刀等	约占电火花机床总数的 3%, 典型机床有 D6310 电火花小孔内圆磨床等
4	电火花同步共轭回转加工	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, 加工各种复杂形面的零件, 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	占电火花机床总数不足 1%, 典型机床有 JN-2、JN-8 内外螺纹加工机床
5	电火花高速小孔加工	1) 采用细管 ($> \phi 0.3\text{mm}$) 电极, 管内冲入高压水基工作液 2) 细管电极旋转 3) 穿孔速度很高 (30 ~ 60mm/min)	1) 线切割预穿丝孔 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 电火花高速小孔加工机床
6	电火花表面强化、刻字	1) 工具在工件表面振动, 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 电火花强化机等

1.1.6 电火花线切割的原理、特点与应用范围

电火花线切割加工是电火花加工的一种类型, 也是直接利用电能和热能对工件进行加工的。

1. 线切割加工原理

电火花线切割加工简称为线切割。它是利用不断运动的电极丝作为工具电极, 与工件之间产生火花放电, 从而将金属蚀除下来, 实现轮廓切割的。其工作原理如图 1-3 所示。

2. 线切割加工的特点

1) 采用线状电极切割工件, 无需制造特定形状的工具电极。

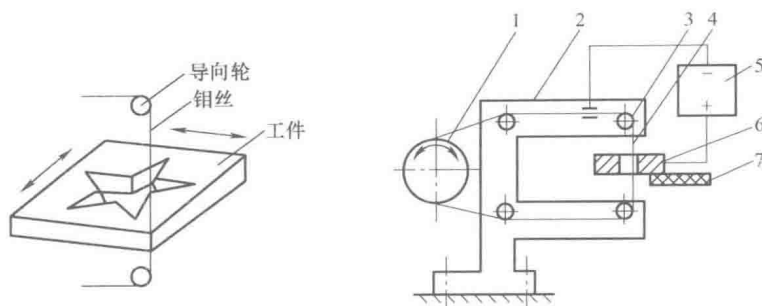


图 1-3 电火花线切割加工原理

1—传动轮 2—支架 3—导向轮 4—钼丝 5—脉冲电源 6—工件 7—绝缘底板

2) 电极丝一般都比较细,可加工窄缝与形状复杂的工件。另外由于加工时的金属腐蚀量很少,使材料利用率高,能有效节约贵重金属。

3) 采用乳化液或去离子纯净水作为工作液,不会引燃,可实现安全无人加工。

4) 采用的电极丝不断运动,使单位长度电极丝的损耗很小,对加工精度影响也小。

3. 线切割加工的应用范围

由于线切割采用的电极丝很细,所以几乎能够加工出任何平面几何形状的零件,如锥度、上下异形、形状扭曲的曲面形体等零件,但不能加工不通孔、台阶孔。其主要应用在以下几个方面。

1) 加工模具。线切割加工适于加工各种形状的冲模。调整间隙补偿量,只需一次编程就可以切割凸模、凸模固定板、凹模、卸料板等零件。

2) 加工零件与试制新产品。在零件制造方面,线切割加工可用于加工零件品种多,数量少的零件,特殊难加工材料的零件(如硬质合金、淬火钢等高硬度、高熔点材料,较贵重材料等)。在试制新产品时,可用线切割直接割出零件,而不用另做模具,以缩短制造周期,降低成本。

3) 加工电火花成形加工用的电极。

课题 2 电火花线切割加工的设备类型及组成

1.2.1 电火花线切割加工的设备类型

电火花线切割加工的分类方法有很多种,这里只介绍按切割轨迹分类和走丝速度分类。

1. 按切割轨迹分类

按线切割加工的轨迹可以将其分为直壁切割、锥度切割和上下异形面线切割加工。

(1) 直壁切割 直壁切割是指电极丝运行到切割段时,其走丝方向与工作台保持垂直关系。

(2) 锥度切割 锥度切割又分为圆锥面切割和斜(平)面切割。锥度切割时,电极丝与工作台有一定斜度,同时工作台要按规定的轨迹运动。

(3) 上下异形面切割 在前两种切割中,工件的上下表面的轮廓是相似的,而在上下异形面切割中,工件的上下表面的轮廓是不相似的。例如,上表面是圆形,下表面是矩形

(即所谓“天圆地方”), 上下表面之间平滑过渡。这种异型面常采用四轴联动的线切割机床加工, 工件除了在程序控制下的 X 、 Y 轴方向的运动外, 电极丝的上导轮在水平面内也可以作小范围的运动, 即 U 、 V 轴运动。

2. 按走丝速度分类

按走丝速度分类可分为快走丝线切割机床 (也称为高速走丝机床) 和慢走丝线切割机床 (也称为低速走丝机床) 两类, 如图 1-4 所示。目前也出现中速走丝线切割机床, 其加工特点介于快走丝和慢走丝线切割机床之间。

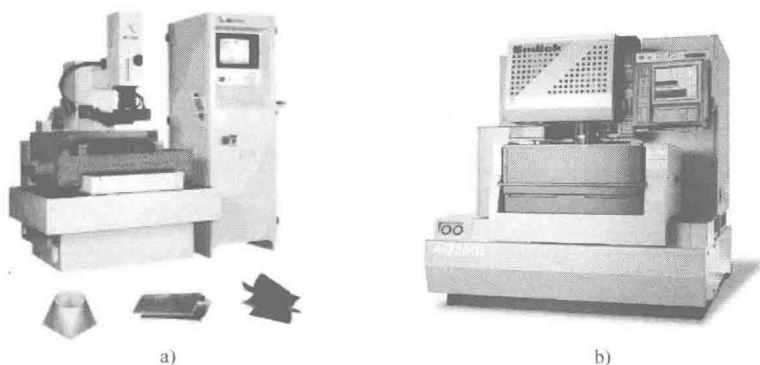


图 1-4 线切割机床

a) 快 (高速) 走丝机床 b) 慢 (低速) 走丝机床

(1) 快 (高速) 走丝线切割机床 (图 1-4a)

- 1) 走丝速度一般为 $6 \sim 12\text{m/s}$ 。
- 2) 采用钼丝、钨钼合金丝作为电极丝。
- 3) 电极丝往复循环运动直至断丝。
- 4) 加工精度较高, 通常为 $\pm(0.01 \sim 0.02)\text{mm}$ 。
- 5) 表面粗糙度为 $Ra1.25 \sim 3.2\mu\text{m}$ 。
- 6) 切削液为水基工作液、乳化液。
- 7) 冷却方式采用喷注方式。
- 8) 程序使用 3B、G、4B 代码。

(2) 慢 (低速) 走丝线切割机床 (图 1-4b)

- 1) 走丝速度一般低于 0.2m/s 。
- 2) 采用黄铜丝、纯铜丝作为电极丝, 也有采用镀锌铜丝。
- 3) 电极丝只使用一次。
- 4) 加工精度为 $\pm(0.002 \sim 0.005)\text{mm}$ 。
- 5) 表面粗糙度高于快 (高速) 走丝线切割机床, 一般 $Ra0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。
- 6) 切削液为去离子纯净水、煤油。
- 7) 工件浸入切削液中, 采用喷、浸入方式。
- 8) 程序使用 G 代码。

(3) 快走丝线切割机床与慢走丝线切割机床的对比 具体见表 1-3。

表 1-3 快走丝切割机床与慢走丝切割机床的比较

机床类型 比较项目	快走丝线切割机床	慢走丝线切割机床
走丝速度/(m/s)	6~12	<0.2
电极丝材料	钼、铜钨合金、钼钨合金	黄铜、镀锌材料
电极丝直径/mm	0.04~0.25 常用值 0.12~0.20	0.003~0.3 常用值 0.20
电极丝长度/mm	几百	数千
电极丝运行方式	往复供丝,反复使用	单向供丝,一次性使用
电极丝张力	固定	可调
电极丝抖动	较大	较小
电极丝损耗	加工 $(3\sim10)\times10^4\text{mm}^2$ 损耗 0.01mm	不计
走丝机构	较简单	较复杂
导丝方式	导轮	导向器
穿丝方式	手工	手工或自动
切割次数	通常 1 次	多次
放电间隙/mm	0.01~0.03	0.01~0.08
切削液	乳化液、水基工作液	去离子水、煤油
切削液电阻率/ $\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$	0.5~50	10~100
切割速度/ (mm^2/min)	20~160	40~80
加工精度/mm	$\pm(0.01\sim0.02)$	$\pm(0.005\sim0.002)$
表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	1.25~3.2	0.8~1.6
加工精度/mm	$\pm(0.01\sim0.02)$	$\pm(0.002\sim0.005)$

1.2.2 电火花线切割加工设备的组成

因电火花线切割加工设备的种类不同,机床结构也有所不同。本节主要讲述我国使用较多的快走丝线切割加工设备的结构。快走丝线切割加工设备主要由机床、脉冲电源、控制系统(数控系统)3大部分组成。

1. 机床

机床是线切割加工设备的主要部分,其结构和制造精度直接影响到加工性能,快走丝线切割机床结构如图 1-5 所示。一般由床身、工作台、走丝机构、丝架、工作液循环系统等 5 大部分组成。

(1) 床身 床身是支承和固定工作台、走丝机构等的基体。因此,要求床身应有一定的刚度和强度,一般采用箱体式结构。

(2) 工作台 目前在电火花线切割机床上采用的坐标工作台,大多为 X、Y 方向线性运动。工作台长方向为 Y 轴,短方向为 X 轴。不论是哪种控制方式,电火花线切割机床最终都是通过坐标工作台与丝架的相对运动来完成零件加工的,坐标工作台应具有很高的坐标精度和运动精度,而且要求运动灵敏、轻巧,一般都采用十字滑板、滚珠导轨,传动丝杠和螺母之间必须消除间隙,以保证滑板的运动精度和灵敏度。