

职业教育机电类技能人才培养规划教材
ZHIYE JIAOYU JIDIANLEI JINENG RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI

 数控技术应用专业系列

电加工工艺与技能训练

□ 周晓宏 主 编
□ 黄小云 于修君 副主编

- ▶ 重点介绍企业最常用机型
- ▶ 理论与实践一体化讲解
- ▶ 实例的可操作性切合教学需要



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

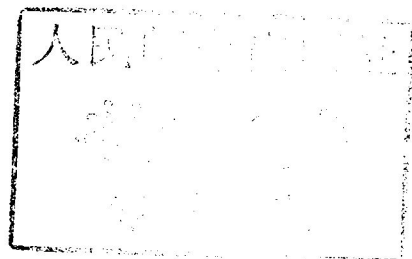
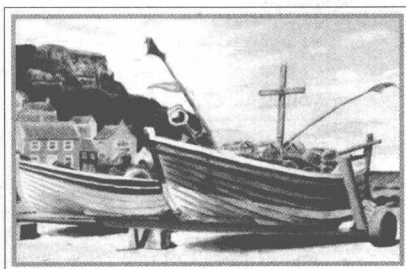

高级

职业教育机电类技能人才培养规划教材
ZHIYE JIAOYU JIDIANLEI JINENG RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI

数控技术应用专业系列

电加工工艺与技能训练

□ 周晓宏 主 编
□ 黄小云 于修君 副主编



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电加工工艺与技能训练 / 周晓宏主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.10

职业教育机电类技能人才培养规划教材. 数控技术应用专业系列

ISBN 978-7-115-20559-9

I. 电… II. 周… III. 数控机床—电火花加工—职业教育—教材 IV. TG661

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第065737号

内 容 提 要

本书介绍了企业最常用的数控电火花线切割加工和电火花成型加工的相关知识和操作技能。全书由7个模块组成, 内容包括电加工基础知识和工艺规律、电加工机床的操作、应用3B代码编程并加工零件、应用ISO代码编程加工零件、CAXA数控线切割自动编程、应用电火花成型机床加工零件、电加工机床高级操作工考核实例等。本书特别注重电加工工艺和电加工机床操作技能的训练。

本书可作为高级技工学校、职业院校机电类专业学生的教材, 也可供从事电加工机床操作和编程等工作的工程技术人员参考使用。

职业教育机电类技能人才培养规划教材

数控技术应用专业系列

电加工工艺与技能训练

-
- ◆ 主 编 周晓宏
 - 副 主 编 黄小云 于修君
 - 责任编辑 张孟玮
 - 执行编辑 郭 晶
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13
字数: 328千字 2009年10月第1版
印数: 1—3 000册 2009年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-20559-9/TN

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

职业教育机电类技能人才培养规划教材

专家指导委员会

陈德兴 陈玉堂 李春明 李献坤 邵佳明 俞勋良

编写委员会

主任委员

黄 志 刘钧杰 毛祥永 秦 伟 孙义宝

委 员

蔡 崧	曹 琪	陈海舟	陈长浩	陈建国	陈移新	成百辆	成振洋	崔元刚	邓万国
丁向阳	董国成	董伟平	董扬德	范继宁	封贵牙	冯高头	冯光明	高恒星	高永伟
葛小平	宫宪惠	顾颂虞	管林东	胡 林	黄汉军	贾利敏	姜爱国	金伟群	孔凡宝
李乃夫	李 煜	梁志彪	刘水平	柳 杨	陆 龙	吕 燕	罗 军	骆富昌	穆士华
钱 锋	秦红文	单连生	沈式曙	施梅仙	孙海锋	孙义宝	汤国泰	汤伟文	唐监怀
汪 华	王德斌	王立刚	王树东	王以勤	吴琰琨	解晨宁	许志刚	杨寿智	叶光胜
于书兴	于万成	袁 岗	张 骛	张璐青	张明续	张启友	张祥宏	张 燊	赵 真
仲小敏	周成统	周恩兵	周晓宏	祝国磊					

审稿委员会

鲍 勇	蔡文泉	曹淑联	曹 勇	陈海波	陈洁训	陈林生	陈伟明	陈煜明	程显吉
崔 刚	但汉玲	邓德红	丁 辉	窦晓宇	冯广慧	付化举	龚林荣	何世勇	洪 杰
黄 波	黄建明	蒋咏民	康建青	李春光	李天亮	李铁光	梁海利	梁红卫	梁锦青
廖 建	廖圣洁	林志冲	刘建军	刘 立	刘 霞	柳胜雄	卢艾祥	吕爱华	罗谷清
罗 恺	罗茗华	罗晓霞	孟庆东	聂辉文	彭向阳	乔 宾	孙名楷	谭剑超	腾克勇
万小林	王大山	王 峰	王来运	王灵珠	王 茜	王为建	王为民	王学清	王屹立
王 勇	王玉明	王定勇	伍金浩	肖友才	谢 科	徐丽春	许建华	许启高	鄢光辉
严大华	严 军	杨小林	姚小强	姚雅君	叶桂容	袁成华	翟 勇	詹贵印	张 彬
张东勇	张旭征	张志明	钟建明	周朝辉	周凤顺	周青山	邹 江		

本书编委

周晓宏 黄小云 于修君



随着我国制造业的快速发展,高素质技术工人的数量与层次结构远远不能满足劳动力市场的需求,技术工人的培养培训工作已经成为国家大力发展职业教育的重要任务。为此,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于进一步加强高技能人才工作的意见》(中办发[2006]15号)的通知。目前,各类职业院校主动适应经济社会发展要求,主动开展教学研讨,探索更加适合当前技能人才需求的教育培养模式,对中高级技能人才的培养和培训工作起到了积极推动的作用。

职业教育要根据行业的发展和人才的需求,来设定人才的培养目标。当前各行业对技能人才的要求越来越高,而激烈的社会竞争和复杂多变的就业环境也使得职业教育学生只有扎实地掌握一技之长才能实现就业。但是,加强技能培养并不意味着弱化或放弃基础知识的学习;只有牢固地掌握相关理论基础知识,才能自如地运用各种技能,甚至进行技术创新。所以,如何解决理论与实践相结合的问题,走出一条理实一体化的教学新路,是摆在职业教育工作者面前的一个重要课题。

我们本着为职业教育教学改革尽一份社会责任之目的,依据职业教育专家的研究成果,依靠技工学校教师和企业一线工作人员,共同参与“职业教育机电类技能人才教学方案研究与开发”课题研究工作。在对职业教育机电大类专业教学进行规划的基础上,我们的课题研究以职业活动为导向、以职业能力为核心,根据理论知识够用、强化技能训练的原则,将理论和实践有机结合,开发出机电类技能人才培养专业教学方案,并制订出每门课程的教学大纲,然后组织教学一线骨干教师进行教材的编写。

本套教材针对不同课程的教学要求采用“理实相结合”或“理实一体化”两种形式组织教学内容,首批55本教材涵盖2个层次(中级工、高级工),3个专业(数控技术应用、模具设计与制造、机电一体化)。教材内容统筹规划,合理安排知识点与技能训练点,教学内涵生动活泼,尽可能使教材体系和编写结构满足职业教育机电类技能人才培养教学要求。

我们衷心希望本套教材的出版能够对目前职业院校的教学工作有所帮助,并希望得到职业教育专家和广大师生的批评与指正,以期通过逐步调整、完善和补充,使之更符合机电类技能人才培养的实际。

“职业教育机电类技能人才教学方案研究与开发”课题专家指导委员会

2009年2月



前言

PREFACE

各种新材料、新结构、形状复杂的精密机械零件的大量涌现,对机械制造业提出了一系列迫切需要解决的新问题。例如,各种难切削材料的加工,各种结构形状复杂、尺寸微小或特大、精密零件的加工,薄壁等刚度弹性元件、特殊零件的加工等。由于采用传统加工方法加工起来十分困难,甚至无法加工,于是产生了电加工技术。

电加工是指直接利用电能(放电)对金属材料进行的加工,主要有电火花线切割、电火花成型加工、电抛光、电解磨削加工等。本书介绍了企业生产中最常用的数控电火花线切割加工和电火花成型加工的相关知识和操作技能。线切割加工主要用于冲模、挤压模、小孔、形状复杂的窄缝及各种形状复杂零件的加工;电火花成型加工主要用于形状复杂的型腔、凸模、凹模等的加工。这两种加工方法在现代模具行业中应用非常广泛,占模具加工总量的 30%~50%。

当前,电加工技术快速发展,促使数控电加工机床在企业中的应用逐渐普及,电加工机床的大量使用,导致国内企业数控电加工机床编程与操作人才严重短缺,企业正急需一大批数控电加工技能型人才。这种对电加工技能型人才的迫切需要,使得数控电加工人才的培养成为了一项重要而艰巨的任务。

在这样的背景下,我们结合多年生产实践经验和教学经验,反复实践和总结,编写了这本电加工工艺与技能训练教材。在内容编排上,特别注重所述工艺知识与技能的实用性和可操作性。本书与目前同类教材比较,主要特色如下。

(1) 深浅适度,符合高级技工学校的教学实际;内容详细、明了,深入浅出,图文并茂。

(2) 符合一体化教学的需要。本教材按“模块”来编写,在“模块”下又分解为几个“课题”,是一种理论和实操一体化的教材。作者首先对电加工技能型人才必需的知识和技能进行了认真选取,然后按照学生的学习规律,精选了 20 多个“课题”,把知识和技能融入到这些课题中,在“课题”引领下介绍完成该课题(加工工件、操作机床等)所需理论知识和实操技能,符合目前我国职业教育界正在大力提倡的“任务引领型”教学思路。

(3) 实用性强。本书在编写过程中,突出体现“知识新、技术新、技能新”的编写思想,以所介绍知识和技能“实用、可操作性强”为基本原则,不追求理论知识的系统性和完整性。本书所介绍的电加工机床在生产实际中应用很广,在课题实施中特别注重电加工工艺的训练。

(4) 内容编排符合学生的学习规律。绝大多数课题都由“基础知识”、“课题实施”、“知识与技能拓展”和“作业测评”等四个部分组成。“基础知识”讲解完成本课题所需知识;“课题实施”介绍完成该课题的工艺方法和操作步骤;“知识与技能拓展”介绍与课题相关的较高层次的知识和技能;“作业测评”用于测试学生对该课题的掌握情况。

本书可作为高级技工学校机电类专业学生的教材,也可作为高职和中职机电类专业学生的教材。本书特别适用于电加工机床中级操作工和高级操作工的培训课程,也适合作为从事电加工机

床操作和编程等工作的工程技术人员的参考资料。

本书由深圳技师学院（深圳高级技工学校）周晓宏副教授主编，深圳技师学院黄小云任副主编并编写了模块二的大部分内容，平度市职业教育中心于修君任副主编并编写了模块一的课题一和模块七的课题一，本书其余部分均由周晓宏编写，并对全书进行了统校。

由于编者水平有限，书中不妥或错误之处，恳请读者指正。

编 者

2009年4月



目录

CONTENTS

模块一 电加工基础知识和工艺规律.....1

课题一 电加工实例快速导入.....2

一、基础知识.....2

二、课题实施.....3

三、知识与技能拓展.....5

课题二 学习电火花加工基础知识.....5

一、基础知识.....5

课题三 认识电火花线切割加工的

工艺规律.....10

一、基础知识.....10

二、知识与技能拓展：线切割 加工中预防工件报废或 质量差的方法.....18

课题四 认识电火花成型加工的

工艺规律.....18

一、电火花加工的工艺指标.....18

二、影响材料放电腐蚀的 因素.....19

三、电火花加工工艺指标的 变化规律.....21

模块总结.....31

综合练习.....31

模块二 电加工机床的操作.....33

课题一 DK7725 线切割机床的操作.....34

一、机床工作原理、组成及 加工流程.....34

二、主机的基本操作.....37

三、立式控制柜的基本操作.....41

四、YH 自动编程系统介绍.....49

五、电火花线切割机床操作

规程和维护.....59

六、慢走丝线切割机床简介.....62

课题二 电火花成型机床的操作.....63

一、DK7125NC 型电火花

机床结构及操作面板.....63

二、基本操作.....68

三、数控系统操作.....69

四、加工参数说明.....70

五、电火花加工中的技巧.....71

六、电火花机床的操作

规程.....72

七、电火花加工结束后的

自检及清理.....74

八、电火花加工中常见问题及

处理方法.....75

九、电火花成型机床的附件：

平动头和油杯.....75

十、进口电火花成型机床

简介.....78

模块总结.....80

综合练习.....80

模块三 应用 3B 代码编程并加工零件.....82

课题一 加工方形冷冲凸模.....83

一、基础知识.....83

二、课题实施.....87

三、作业测评.....89

四、知识与技能拓展：

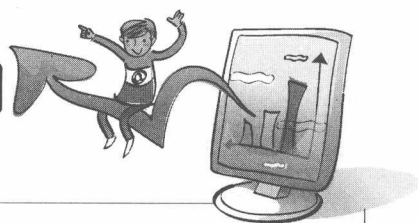
工作液的使用方法.....90

课题二 加工样板零件.....90

一、基础知识.....90	一、轮廓.....133
二、课题实施.....92	二、加工误差与步长.....134
三、作业测评.....93	三、拐角处理.....134
四、知识与技能拓展: 拆导轮的方法.....94	四、切入方式.....134
模块总结.....96	五、拟合方式.....135
综合练习.....96	课题三 轨迹生成.....135
模块四 应用 ISO 代码编程加工零件.....98	一、概述.....135
课题一 加工凸模零件.....99	二、轨迹生成.....135
一、基础知识.....99	三、轨迹跳步.....137
二、课题实施.....103	四、取消跳步.....138
三、作业测评.....104	五、轨迹仿真.....138
四、知识与技能拓展: 提高线 切割形状精度的措施.....105	六、计算切割面积.....138
课题二 加工对称凹模.....108	课题四 代码生成.....138
一、基础知识.....108	一、概述.....138
二、课题实施.....109	二、生成 3B 代码.....139
三、作业测评.....110	三、生成 4B/R3B 代码.....139
四、知识与技能拓展: 电极 丝往复运动对工艺指标的 影响.....111	四、校核 B 代码.....139
课题三 加工带锥度的凹模.....113	五、生成 G 代码.....139
一、基础知识.....113	六、校核 G 代码.....140
二、课题实施.....116	七、查看/打印代码.....140
三、作业测评.....117	课题五 机床设置与后置设置.....141
四、知识与技能拓展.....118	一、机床设置.....141
模块总结.....120	二、后置设置.....143
综合练习.....120	课题六 数控线切割自动编程实例.....145
模块五 CAXA 数控线切割自动编程.....123	一、快速入门实例.....145
课题一 CAXA 线切割 XP 系统基础 知识.....124	二、检验样板的编程.....147
一、用户界面.....124	三、汉字切割.....148
二、基本操作.....125	四、复杂零件切割.....150
三、菜单命令系统简介.....127	模块总结.....151
四、应用 CAXA 线切割 XP 系统绘图实例.....131	综合练习.....151
课题二 数控线切割自动编程基础.....133	模块六 应用电火花成型机床加工 零件.....153
	课题一 用电火花成型机床加工 方孔冲模.....154
	一、基础知识.....154
	二、课题实施.....160
	三、作业测评.....161

四、知识与技能拓展：小孔的电火花加工	162	课题一 线切割机床高级操作工	
课题二 用电火花机床加工花纹模具	163	考核实例一	190
一、基础知识	163	一、基础知识	190
二、课题实施	171	二、课题实施	191
三、作业测评	172	课题二 线切割机床高级操作工	
四、知识与技能拓展	174	考核实例二	191
课题三 用电火花机床加工注射模镶块	176	一、工艺分析	192
一、基础知识	176	二、工艺实施	192
二、课题实施	182	课题三 电火花机床高级操作工	
三、作业测评	183	考核实例一	192
四、知识与技能拓展	184	一、工艺分析	193
模块总结	186	二、课题实施	193
综合练习	187	课题四 电火花机床高级操作工考核实例二	194
模块七 电加工机床高级操作工考核实例	189	一、工艺分析	194
		二、课题实施	194
		模块总结	195
		综合练习	195
		参考文献	197

电加工基础知识和工艺规律



学习目标

- ◎ 掌握电火花加工的原理、优缺点和工艺类型
- ◎ 掌握电火花线切割加工的工艺规律
- ◎ 掌握电火花成型加工的工艺规律

课题一

电加工实例快速导入

在本课题中将演示线切割加工实例和电火花加工实例，通过观察 2 个电加工实例，以了解电加工的基本原理、加工方法和电加工机床的工作情况。

一、基础知识

电加工一般是指直接利用电能（放电）对金属材料进行的加工，主要有电火花线切割、电火花成型加工、电抛光、电解磨削加工等。

本书将介绍企业最常用的电火花线切割加工（简称线切割加工）和电火花成型加工（简称电火花加工）的相关知识和技能。线切割加工主要用于冲模、挤压模、小孔、形状复杂的窄缝及各种形状复杂零件的加工，如图 1-1 所示。电火花加工主要用于形状复杂的型腔、凸模、凹模等的加工，如图 1-2 所示。

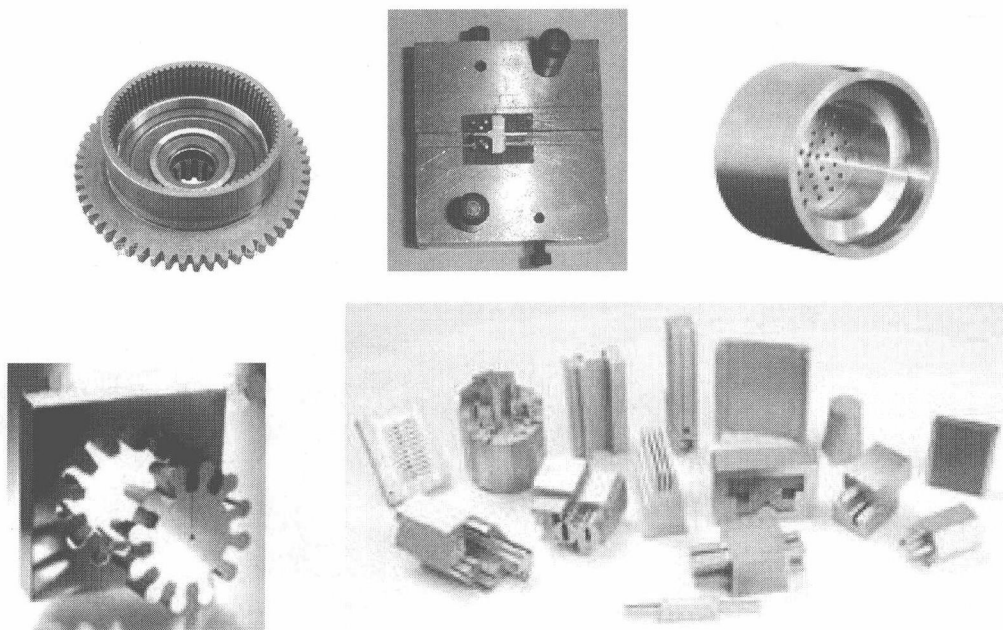


图 1-1 线切割加工产品

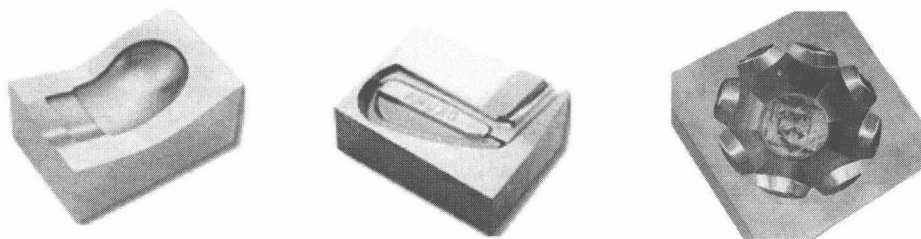
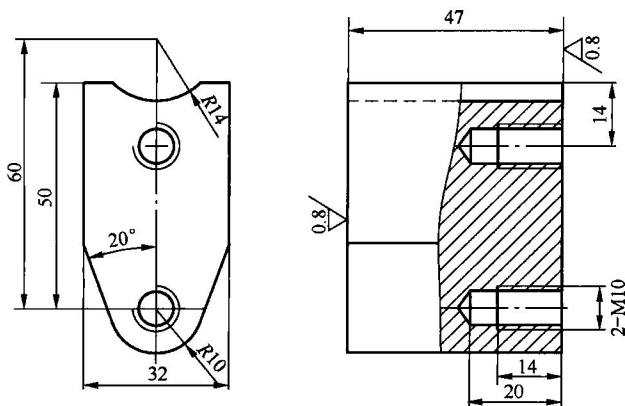


图 1-2 电火花加工产品

二、课题实施

1. 线切割加工实例

应用线切割机床加工如图 1-3 所示的凸模。



技术要求

- 1、加工材料厚度 3mm 钢板
- 2、完工后与凹模刃口的双面配合间隙为 0.03mm
- 3、热处理硬度 58~62HRC

图 1-3 凸模零件图

(1) 工艺分析。

图 1-3 所示零件的加工工艺见表 1-1。

表 1-1 凸模零件的加工工艺

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容
1	备料	锻造毛坯 70mm×50mm×38mm
2	热处理	球化退火，消除内应力，改善组织和工艺性能
3	铣（刨）加工	铣（刨）毛坯各面，单边留磨量 0.6~0.8mm
4	磨床加工	磨上、下两面，留 0.2~0.3mm 的精磨余量
5	钳加工	钻、攻 2-M10 螺纹孔，钻穿丝孔
6	热处理	淬火，低温回火，要求硬度 60~64HRC
7	精磨加工	磨上、下面
8	线切割加工	割凸模轮廓，单边留研磨量 0.05mm
9	研磨	研磨刃口、线切割面至要求的尺寸和表面粗糙度

(2) 工艺实施。

在进行线切割加工之前，已经完成了工序 1~7，在线切割机床上进行工序 8 的过程如下。

- ① 分析零件图，了解加工内容及加工要求。
- ② 熟悉零件工艺过程，确定切割方案。
- ③ 启动机床，绘图编程。
- ④ 装夹工件，找正并用压板夹紧。

- ⑤ 根据工件厚度调整 Z 轴至适当位置并锁紧。
- ⑥ 穿丝, 并调整好储丝筒行程。
- ⑦ 找正钼丝垂直度。
- ⑧ 调正钼丝位置, 用自动找中心法使钼丝位于穿孔中心。
- ⑨ 根据图样要求输入相关补偿参数, 后置处理生成加工程序, 模拟运行。
- ⑩ 检查系统各部分是否正常, 如电压、水泵和丝筒等。开启工作液, 开启走丝电机, 开启高频开关, 按下步进电机开关, 开始加工工件。观察加工过程。
- ⑪ 检查测量工件。

2. 电火花加工实例

运用电火花机床加工如图 1-4 所示型腔。

使用 DK7125NC 电火花机床进行加工, 工作过程如下。

(1) 装夹电极、工件, 拉表找正。合上机床电源, 按启动开关以后, 系统进行自检, 指示灯全亮, 三轴显示-888.888, 规准值显示 88—88。

(2) 几秒种后, 系统结束自检, 三轴及规准值显示上次关机时的值, 主轴悬停, 公/英和反打指示灯指示上次关机时的状态。

(3) 进行对刀, 对刀后, 移动主轴电极使其接触加工工件基准位置, 如图 1-5 所示, 然后 Z 轴清零。

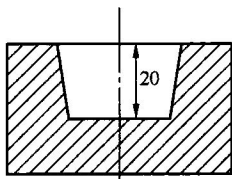


图 1-4 型腔

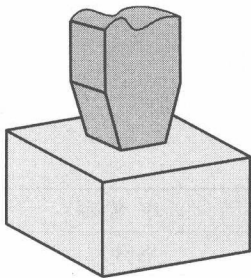


图 1-5 确定加工位置

(4) 进行参数设定。

加工参数 (亦称加工规准), 主要指电流、脉宽、脉冲间隔、抬刀等参数。加工参数主要根据实际情况选择。

① 调用步序 7, 设定目标深度=18.000。设定规准值: 脉冲宽度取 $800\mu\text{s}$, 脉冲间隔取 $100\mu\text{s}$ 。步序 7 为中加工。

② 调用步序 8, 设定目标深度=19.000。设定规准值: 脉冲宽度取 $400\mu\text{s}$, 脉冲间隔取 $150\mu\text{s}$ 。步序 8 为中加工。

③ 调用步序 9, 设定目标深度=20.000。设定规准值: 脉冲宽度取 $70\mu\text{s}$, 脉冲间隔取 $200\mu\text{s}$ 。步序 9 为精加工。

④ 检查步序 7~步序 9, 无误后调用步序 7。

(5) 按控制面板上“自动”键 (指示灯亮), 按手控盒上“加工”键, 开始加工。

如果加工到某一段的目标深度, 自动调用下一段。

当加工到 20.000 时, 系统自动切断加工电压, 主轴回退, 到位后, 转到对刀状态, 报警蜂鸣, 或

关机。

(6) 对被加工的零件进行精度检验。



加工中不要触摸电极和工件，以防触电。

三、知识与技能拓展

1943年，前苏联科学院的拉扎林柯夫妇，在研究火花放电时，通过观察开关触点受到腐蚀损坏的现象，发现电火花的瞬时高温可使局部的金属熔化，甚至汽化而被蚀除掉，从而开创和发明了电火花加工，并用铜丝在淬火钢上加工出小孔，实现了用软金属工具加工任何硬度的金属材料。电火花加工直接利用电能和热能去除金属，首次摆脱了传统的切削加工方式，取得了“以柔克刚”的效果。

1. 电加工的概念

电加工主要是指利用电的各种效应（如电能、电化学能、电热能、电磁能、电光能等）对金属材料进行加工的一种方式。电加工包括电蚀加工（电火花成型加工和线切割加工）、电子束加工、电化学加工（电抛光等）及电热加工（导电磨削、电热整平）等。从狭义而言，电加工一般是指直接利用电能（放电）对金属材料进行的加工，主要有电火花成型加工、线电极切割、电抛光、电解磨削加工等。

2. 电火花加工的概念

电火花加工（Electrical Discharge Machining, EDM），也称为放电加工、电蚀加工或电脉冲加工，是一种靠工具电极（简称工具或电极）和工件电极（简称工件）之间的脉冲性火花放电来蚀除多余的金属，直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。由于加工过程中可看见火花，因此被称为电火花加工。

3. 电火花线切割加工的概念

电火花线切割加工（Wire Cut EDM）是在电火花加工的基础上发展起来的一种新兴加工工艺，采用细金属丝（钼丝或黄铜丝）作为工具电极，使用电火花线切割机根据数控编程指令进行切割，加工出满足技术要求的工件。

课题二

学习电火花加工基础知识

本课题将学习电火花加工的基础知识，学习目标是：认识数控线切割机床和数控电火花机床的原理、结构与工艺用途，认识电火花加工的工艺规律。

一、基础知识

1. 电火花加工的原理

电火花加工是在工件和工具电极之间的极小间隙上施加脉冲电压，使这个区域的介质电离，引发火花放电，从而将该局部区域的金属工件熔融蚀除掉，反复不断地推进这个过程，逐步地按

要求去除多余的金属材料而达到加工尺寸的目的,如图 1-6 所示。

电火花加工的过程大致分为以下几个阶段,如图 1-7 所示。

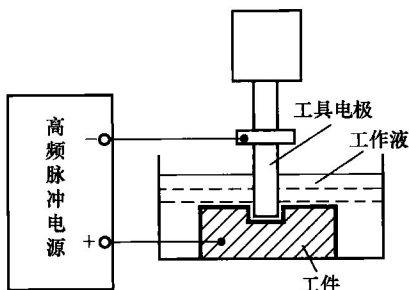


图 1-6 电火花加工原理示意图

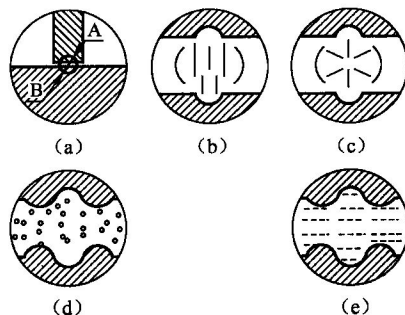


图 1-7 电火花加工的过程

(1) 极间介质的电离、击穿,形成放电通道,如图 1-7 (a) 所示。工具电极与工件电极缓缓靠近,极间的电场强度增大,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 处电场强度最大。

工具电极与工件电极之间充满着液体介质,液体介质中不可避免地含有杂质及自由电子,它们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。放电通道是由大量高速运动的带正电和带负电的粒子以及中性粒子组成的。由于通道截面很小,通道内因高温热膨胀形成的压力高达几万帕,高温高压的放电通道急速扩展,产生一个强烈的冲击波向四周传播。在放电的同时还伴随着光效应和声效应,这就形成了肉眼所能看到的电火花。

(2) 电极材料的熔化、汽化热膨胀,如图 1-7 (b)、(c) 所示。液体介质被电离、击穿,形成放电通道后,通道间带负电的粒子奔向正极,带正电的粒子奔向负极,粒子间相互撞击,产生大量的热能,使通道瞬间达到很高的温度。通道高温首先使工作液汽化,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汽化。汽化后的工作液和金属蒸气瞬间体积猛增,形成了爆炸的特性。所以在观察电火花加工时,可以看到工件与工具电极间有冒烟现象,并听到轻微的爆炸声。

(3) 电极材料的抛出,如图 1-7 (d) 所示。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,工作液和金属汽化后不断向外膨胀,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,大部分被抛入到工作液中。仔细观察电火花加工,可以看到橘红色的火花四溅,这就是被抛出的高温金属熔滴和碎屑。

(4) 极间介质的消电离,如图 1-7 (e) 所示。加工液流入放电间隙,将电蚀产物及残余的热量带走,并恢复绝缘状态。若电火花放电过程中产生的电蚀产物来不及排除和扩散,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、积炭,使加工无法继续进行,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出,恢复放电通道的绝缘性,使工作液介质消电离。

上述步骤(1)~(4)在 1s 内约数千次甚至数万地往复式进行,即单个脉冲放电结束,经过一段时间间隔(即脉冲间隔)使工作液恢复绝缘后,第二个脉冲又作用到工具电极和工件上,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,蚀出另一个小凹坑。这样以相当高的

频率连续不断地放电,工件不断地被蚀除,故工件加工表面将由无数个相互重叠的小凹坑组成。所以电火花加工是大量的微小放电痕迹逐渐累积而成的去除金属的加工方式。

2. 电火花加工的优点

(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的导电性及其热学特性,如熔点、沸点(汽化点)、比热容、热导率、电阻率等,而几乎与其力学性能(硬度、强度等)无关,这样可以突破传统切削加工对刀具的限制,可以实现用软的工具加工硬韧的工件,甚至可以加工像聚晶金刚石、立方氮化硼一类的超硬材料。目前电极材料多采用紫铜或石墨,因此工具电极较容易加工。

(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,数控技术的采用使得用简单的电极加工复杂形状零件也成为可能。

(3) 易于实现加工过程自动化。这是由于是直接利用电能加工,而电能、电参数较机械量易于数字控制、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。例如可以将拼镶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。又如喷气发动机中的叶轮,采用电火花加工后可以将拼镶、焊接结构改为整体叶轮,既大大提高了工作可靠性,又大大减小了体积和质量。

3. 电火花加工的缺点

电火花加工也有其局限性,具体表现在以下几个方面。

(1) 只能用于加工金属等导电材料,不像切削加工那样可以加工塑料、陶瓷等绝缘的非导电材料。但近年来研究表明,在一定条件下也可加工半导体和聚晶金刚石等非导体超硬材料。

(2) 加工速度一般较慢,因此通常安排工艺时多采用切削来去除大部分余量,然后再进行电火花加工,以求提高生产率,但最近的研究成果表明,采用特殊水基不燃性工作液进行电火花加工,其粗加工生产率甚至高于切削加工。

(3) 存在电极损耗。由于电火花加工靠电、热来蚀除金属,电极也会遭受损耗,而且电极损耗多集中在尖角或底面,影响成型精度。但最近的机床产品在粗加工时已能将电极相对损耗比降至0.1%以下,在中、精加工时能将损耗比降至1%,甚至更小。

(4) 最小角部半径有限制。一般电火花加工能得到的最小角部半径等于加工间隙(通常为 $0.02\sim 0.3\text{mm}$),若电极有损耗或采用平动头加工,则角部半径还要增大。但近年来的多轴数控电火花加工机床采用X、Y、Z轴数控摇动加工,可以清棱清角地加工出方孔、窄槽的侧壁和底面。

4. 电火花加工的工艺类型和适用范围

按工具电极和工件相对运动的方式和用途的不同,大致可分为电火花穿孔成型加工、电火花线切割加工、电火花磨削和镗磨、电火花同步共轭回转加工、电火花高速小孔加工、电火花表面强化与刻字六大类。前五类属电火花成型、尺寸加工,是用于改变工件形状或尺寸的加工方法;后者则属表面加工方法,用于改善或改变零件表面性质。以上应用类型以电火花穿孔成型加工和电火花线切割应用最为广泛。表1-2为总的分类情况及各加工方法的主要特点和用途。本书只介绍电火花成型加工和电火花线切割加工。