

高级数控技工培训丛书

数控电火花加工

SHU KONG

DIANHUOHUA JIA GONG

单岩 等编著

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高级数控技工培训丛书

数控电火花加工

第2版

单岩 夏天 吴立军 薛志刚 赵雅杰编著



机械工业出版社

数控电火花加工机床是应用非常广泛的数探机床,作为机加工的重要补充,电火花加工在机械制造的各个行业已普及。本书目标是培训必须掌握实用的数控电火花机床操作和编程技术的技工,内容围绕当前应用较为广泛的数控电火花机床操作和 NC 编程进行组织,包括数控电火花基本原理、数控电火花机床简介;电火花加工工作液、电源、加工电极等基础知识;常用数控电火花机床的加工操作、工艺处理等;数控编程知识及实例。全书以若干典型的应用实例为背景,重点突出数控机床加工和 NC 编程的基本思路和关键问题,使读者把握学习的要点,迅速达到独立进行一般复杂程度的数控加工操作及编程的水平。本书适合具有中专以上文化程度的机械行业技术人员或在校数控、模具专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花加工/单岩等编著. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2009. 3

(高级数控技工培训丛书)

ISBN 978-7-111-26086-8

I. 数… II. 单… III. 数控机床—电火花加工

IV. TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 006695 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:周国萍 责任校对:申春香

封面设计:陈 沛 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 8.75 印张 · 248 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26086-8

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379733

封面无防伪标均为盗版

丛书序言

近年来,国内人才市场供需结构发生了深刻的变化。一方面,本科以上的高学历人才呈现相对饱和的状态,高校毕业生已不再是“天之骄子”;而另一方面,面向制造企业的技能型人才呈现供不应求的局面,甚至出现十几万年薪“抢”人才的现象。

全球制造业正向中国转移,且这种情况已呈现出加速的势头。与此同时,传统的重高等教育、轻技能教育的观念也发生了变化。在国务院新闻办公室举办的2004年第一次新闻发布会上,发布了“以就业为导向,大力培养技能人才”的变革措施。政府计划在今后的若干年中加速培训数百万的技能型人才,以满足市场的需求。

然而,与这一趋势不相适应的是,面向制造的技能培训教材却相对较少。而一些相近的教材则普遍存在两个问题:一是理论部分比重偏大,实际操作、工艺、经验的比重偏小,与技能型人才的培训需求不相适应。二是知识结构往往比较陈旧,与当前的主流制造方式不相适应。如有的数控培训教材中还在讲授APT语言、纸带穿孔记录数据等过时的内容。

针对这一现状,我们推出了这套技能型人才系列培训教程,它围绕机械制造,特别是模具制造行业中的几种主流加工方式,即数控电火花加工、数控线切割加工、数控车加工、数控铣加工和模具数控加工,讲授数控设备的操作和应用技能,培养模具数控加工领域的技能型人才。

针对技能型人才的培养特点,本套教材打破以往将内容单纯按类别进行分割的板块式讲授方式,而是以相关技能的实际操作过程为主线进行讲解,即采用流程化的讲授方式,以便读者对相关技能的操作过程有更直观、更清晰的认识。此外,在内容的选取上尽可能减少理论,增加实际操作、工艺经验等方面的比重,以达到良好的实用性。

IV

丛书作者既有多年从事数控技术研究和教学工作的高校教师，也有来自生产第一线的、具有丰富实际经验的工程师，从而保证了丛书编写中理论与实际应用的协调统一。

我们热切地期待广大读者对丛书提出宝贵意见，并通过网站 www.51cax.com 或电子信箱：book@51cax.com 与我们进行交流。

浙大旭日图书
高级数控技工培训丛书编委会

第2版前言

本书自2005年出版以来，受到小型培训机构、大中专职业技术学校等读者的欢迎，已先后4次印刷，共计销售12500册。鉴于技术发展，原书内容不够丰富等，为了更好地满足广大读者的需求，我们对本书进行了修订。

此次修订对原书进行了较大改动，主要改动有：修改了原书存在的个别错误；重新梳理了本书的结构框架，新增了大量的理论、技术等方面的内容；每章前添加“本章要点”、章后添加“思考与练习”，帮助读者明确学习内容、巩固所学知识，同时更加教材化。本书修订后共分为10章：第1章绪论，介绍电火花加工的概念、发展、特点、应用范围等内容；第2章电火花加工原理，介绍电火花加工的基本过程、实现电火花加工的条件、影响材料放电腐蚀的主要因素，以及电火花线切割加工；第3章电火花成形加工电源及工作液，介绍电火花成形加工中使用的脉冲电源和工作液相关内容；第4章电火花加工工具电极，介绍电极材料及选择原则、电极设计、电极制造、电极装夹与定位；第5章电火花加工设备，介绍电火花加工机床型号和标准、机床主体、伺服进给系统等内容；第6章电火花加工工艺，介绍电火花加工工艺规律、电火花加工工艺指标，以及选择加工规准；第7章电火花机床系统功能及操作，介绍电火花加工机床操作的相关流程及安全操作规程等内容；第8章电火花穿孔加工与电火花型腔加工，介绍穿孔加工和型腔加工的具体方法；第9章特种电火花加工技术，介绍了几种特种电火花加工；第10章数控电火花ISO编程，介绍数控电火花编程基础以及电火花的ISO编程，并有具体实例。

参加本次修订工作的有浙江科技学院吴立军，浙江大学机械能源与工程学院薛志刚、赵雅杰。修订工作本着尽量考虑到读者的需求，扩充理论知识，增加实例及图形的原则，使本书知识更全面，

VI

层次更分明，实例更丰富，给读者带来更大的参考价值。

本书在修订过程中虽经过反复细致的审核，但错误及不妥之处仍在所难免，恳请广大专家予以批评指正。如果您对本书有更好的意见或建议，欢迎访问我们的网站([www. 51CAX. com](http://www.51CAX.com))与我们联系。

编者

2009 年 2 月

第 1 版前言

随着科技的进步与发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化。数控加工技术使机械制造过程发生了显著的变化,是最具代表性的先进制造技术,目前在模具、汽配等行业已广泛应用。

在我国工业技术发展的新形势下,模具加工技术发展迅猛,数控电火花加工技术正是模具加工工艺领域中的一项关键技术。此项技术跨越机械、电子、控制、数学以及计算机应用等多个领域,是当代机械专业学生和工程技术人员应该了解的新技术。目前,在很多行业新产品的研制和开发过程中,常采用数控电火花加工技术直接加工零件,从而使研制和开发周期大大缩短,生产效率得以大幅度提高。

近年来,国内机械制造行业对数控加工的需求高速增长,但数控技术人才包括数控电火花加工人才严重短缺。因此该方向已逐渐成为就业市场上的热点,对此项技术的培训需求也不断增长。

本书内容安排上注重实用技术与必要的基础知识的统一、应用思路和技巧的统一,文字简练,图文并茂,确保了扎实的培训效果。通过对数控电火花加工专题的讲解及大量的实例练习,使读者迅速掌握数控加工中最实用的技术内容,具备进行数控电火花机床操作和编程的能力。本书采用通俗直观的方式,重点讨论了电火花加工设备的机床结构、电火花加工的加工工艺、电火花穿孔加工、电火花型腔加工电极、多轴数控电火花的 ISO 编程、电火花机床系统功能及操作、电火花加工实例等内容,使具有中专以上文化程度的读者能在较短的时间内理解和掌握基本实用技术,为以后进一步提高技术水平打下良好基础。

本书可作为具有中专以上文化程度的机械技术人员或在校学生的教材,或中等专科学校机电及模具专业以及相关培训机构的培训

VIII

教材，并可作为相关技术人员的参考资料。

本书由浙江大学过程装备与控制工程系单岩、夏天共同编写。在编写过程中参阅了国内外同行的文献、资料和教材，得到了许多专家和同行的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于作者的知识水平和经验，书中难免有欠妥和错误之处，恳请广大专家和读者批评指正。读者可通过网站 www.51CAX.com/train/book 与我们交流。

编者

2004 年 9 月

目 录

丛书序言

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论	1
1.1 电火花加工概述	1
1.2 电火花加工的发展	2
1.2.1 电火花加工的发展历史	2
1.2.2 电火花加工的现状和发展趋势	4
1.2.3 高速铣(HSM)与数控电火花成形机(NCSEDM)	6
1.2.4 高速铣与电火花加工的工艺适应性	12
1.3 电火花加工的特点、局限性及应用	13
1.3.1 电火花加工的特点	13
1.3.2 电火花加工的局限性	14
1.3.3 电火花加工的应用范围	15
1.4 电火花加工的工艺类型及适用范围	16
1.5 电火花加工常用名词术语和符号	18
第2章 电火花加工原理	23
2.1 电火花加工的基本过程	23
2.2 实现电火花加工的条件	25
2.3 影响材料放电腐蚀的主要因素	26
2.3.1 极性效应	26
2.3.2 覆盖效应	27
2.3.3 脉冲放电波形与参数	28

2.3.4	间隙放电特性	32
2.3.5	电极材料	35
2.3.6	工作液	37
2.4	电火花线切割加工	39
第3章	电火花成形加工电源及工作液	41
3.1	电火花成形加工的脉冲电源	41
3.1.1	电火花脉冲电源的功能	41
3.1.2	脉冲电源的分类、特性及应用范围	42
3.1.3	常用脉冲电源	45
3.2	电火花工作液	50
3.2.1	电火花工作液的作用及特点	50
3.2.2	电火花工作液的种类	51
3.2.3	电火花工作液对电火花加工的影响	54
3.2.4	电火花工作液的使用要点	55
第4章	电火花加工工具电极	56
4.1	电极材料及选择原则	56
4.1.1	石墨	56
4.1.2	纯铜	58
4.1.3	铜钨合金与银钨合金	60
4.1.4	钢	60
4.1.5	电极材料的选择原则	61
4.2	电极设计	63
4.2.1	穿孔加工的电极设计	63
4.2.2	型腔加工的电极设计	67
4.2.3	电极结构设计	75
4.3	电极制造	76
4.3.1	电极制造方法	77
4.3.2	电极结构与装夹	78
4.3.3	石墨电极振动成形制造工艺	79

4.4 电极装夹与定位	81
4.4.1 电极装夹	81
4.4.2 定位	84
4.4.3 工艺基准定位系统的使用	86
第5章 电火花加工设备	89
5.1 电火花加工机床型号和标准	90
5.2 机床主体	90
5.2.1 床身和立柱	90
5.2.2 工作台	95
5.2.3 主轴头	95
5.2.4 主轴头和工作台的主要附件	97
5.3 工作液循环过滤系统	99
5.4 电火花加工机床的伺服进给系统	101
5.4.1 伺服进给系统的基本组成部分	102
5.4.2 伺服进给系统的类型	105
5.4.3 伺服进给系统的特殊功能	107
5.5 数控电火花加工机床的数控系统	108
5.5.1 目前数控系统发展的总体趋势	108
5.5.2 电火花加工机床的数控系统	109
5.5.3 电火花加工机床的数控系统硬件	113
5.5.4 电火花机床控制柜	115
第6章 电火花加工工艺	117
6.1 电火花加工工艺规律	117
6.1.1 电火花加工的异常放电	117
6.1.2 表面变质层	120
6.1.3 电蚀产物	122
6.2 电火花加工工艺指标	125
6.2.1 表面粗糙度	125
6.2.2 电火花加工精度	128

6.2.3	电火花加工速度	131
6.2.4	电火花加工的电极损耗	135
6.3	选择加工规准	139
6.3.1	电规准及其对加工的影响	139
6.3.2	加工参数的调整	140
6.3.3	正确选择加工规准	142
第7章 电火花加工机床系统功能及操作		147
7.1	电火花加工操作流程	147
7.2	数控电火花加工机床的手动操作	148
7.3	数控电火花加工机床的操作屏操作	149
7.3.1	准备屏	150
7.3.2	自动生成程序及加工屏	158
7.3.3	编辑屏	162
7.3.4	配置屏	168
7.3.5	诊断屏	168
7.4	电火花加工的控制器操作	169
7.4.1	电火花加工步骤	169
7.4.2	电火花加工基本操作	170
7.5	电火花加工机床操作的注意及检查事项	175
7.5.1	准备加工时的注意事项	175
7.5.2	加工之前的检查事项	177
7.5.3	加工中的检查事项	178
7.6	电火花加工机床加工的安全规程	179
7.6.1	电火花加工的安全技术规程	179
7.6.2	电火花加工机床的安全操作规程	182
7.7	电火花加工机床的维护和保养	182
第8章 电火花穿孔加工与电火花型腔加工		184
8.1	电火花穿孔加工	184
8.1.1	电火花穿孔加工的特点	185

8.1.2	电火花穿孔加工的工艺过程	186
8.1.3	电火花穿孔加工的工艺方法	187
8.1.4	电火花穿孔加工电极	190
8.1.5	电火花穿孔加工应注意的问题	193
8.1.6	电火花穿孔加工实例	194
8.2	电火花型腔加工	196
8.2.1	电火花型腔加工的工艺特点	196
8.2.2	电火花型腔加工工艺	196
8.2.3	电火花加工中的冲、抽油	200
8.2.4	电火花型腔加工的规准选择与转换	203
8.2.5	电极摇动加工	207
8.2.6	型腔电火花加工应注意的问题	209
8.2.7	电火花加工模具型腔的后继抛光及处理	211
8.2.8	电火花型腔加工实例	212
第9章	特种电火花加工技术	215
9.1	电火花磨削加工	216
9.1.1	电火花小孔磨削	216
9.1.2	低刚度细长锥杆外圆磨削	217
9.1.3	轧辊电火花毛化	218
9.1.4	电火花铲磨硬质合金小模数齿轮滚刀	218
9.1.5	电火花对磨、跑合	219
9.2	超声电火花复合加工	219
9.2.1	超声电火花复合打孔	220
9.2.2	超声电火花复合抛光	221
9.3	电火花表面强化和刻字	222
9.3.1	金属电火花表面强化	222
9.3.2	电火花刻字工艺	224
9.4	高速小孔加工	224
9.4.1	深小孔高速电火花加工原理	225
9.4.2	高速电火花小孔加工工艺分析	226

9.4.3 高速电火花小孔加工过程	230
9.5 半导体和非导体电火花加工	231
第 10 章 数控电火花 ISO 编程	234
10.1 数控编程概述	234
10.1.1 数控编程流程及实现方法	234
10.1.2 手工编程	236
10.1.3 计算机辅助编程	238
10.2 ISO 编程基础	241
10.2.1 地址与字	242
10.2.2 坐标系和坐标轴	243
10.2.3 程序段	244
10.2.4 程序运算	246
10.2.5 子程序	246
10.2.6 代码的初始设置	247
10.3 ISO 编程代码	248
10.3.1 G 编程代码	248
10.3.2 M 编程代码	257
10.3.3 转角 R 功能编程指令	259
10.3.4 T 编程代码	259
10.3.5 H 编程代码	259
10.4 C 轴数控编程	260
10.5 单电极加工多型腔笔杆注塑模编程实例	260
参考文献	264

第 1 章 绪 论

本章要点

- 电火花加工概述
- 电火花加工的现状与发展
- 电火花加工的特点、局限性及应用
- 电火花加工的工艺类型及适用范围
- 电火花加工名词术语和符号

1.1 电火花加工概述

电火花加工又称为放电加工(Electrical Discharge Machining,简称 EDM),于 1943 年由前苏联学者拉扎连柯夫妇研究发明后,随着脉冲电源和控制系统的改进而迅速发展起来,也称为电脉冲加工。它是一种直接利用热能和电能进行加工的新工艺。电火花加工与金属切削加工的原理完全不同,在加工过程中,工具电极和工件不接触,而是靠工具电极和工件之间不断的脉冲性火花放电,产生局部、瞬时的高温把金属材料逐步蚀除掉,最终将工具电极的形状反向复制到工件上。电火花加工是在较低的电压范围内,在液体介质中的火花放电。由于放电过程可见到火花,所以称为电火花加工。

电火花加工的基本原理是基于工具电极和工件之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除掉多余的金属,以达到对零件的尺寸、形状以及表面质量预定的加工要求。其加工原理可用图 1-1 简单表示。

工件 1 与工具电极 4 分别与脉冲电源 2 的两个不同极性输出端

相连接，自动进给调节装置 3 使工件和电极间保持适当的放电间隙。两电极间加上脉冲电压后，在间隙最小处或绝缘强度最低处将工作液介质击穿，形成放电火花。放电通道中等离子瞬时高温使工件和电极表面都被蚀除掉一小部分材料，使各自形成一个微小的放电坑。脉冲放电结束后，经过一段时间间隔，使工作液恢复绝缘，下一个脉冲电压又加在两极上，同样进行另一个循环，形成另一个小凹坑。当这个过程以相当高的频率重复进行时，工具电极应不断地调整与工件的相对位置，以加工出所需要的零件。所以，从微观上看，加工表面是由很多个脉冲放电小坑组成。

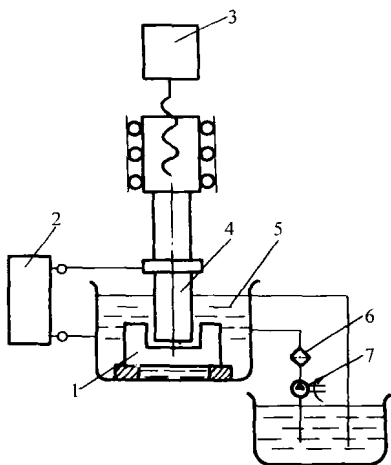


图 1-1 电火花加工原理

1—工件 2—脉冲电源 3—自动进给调节装置 4—工具电极 5—工作液
6—过滤器 7—工作液泵

1.2 电火花加工的发展

1.2.1 电火花加工的发展历史

早在 19 世纪，人们就发现了电器开关的触点开闭时，因为放电使接触部位烧蚀，造成接触面的损坏。这种放电引起的电极烧蚀现象叫做电腐蚀。起初，电腐蚀被认为是有害的，为减少和避免这种有害的电腐蚀，人们一直在研究电腐蚀产生的原因和防止的办法。当人们掌握了它的规律之后，便创造条件，转害为益，把电腐蚀用于生产中。

研究表明，在两极产生放电的过程中，放电通道瞬时产生大量的热，足以使电极材料表面局部熔化或汽化，并在一定条件下，熔化或汽化的部分能抛离电极表面，形成放电腐蚀的坑穴。