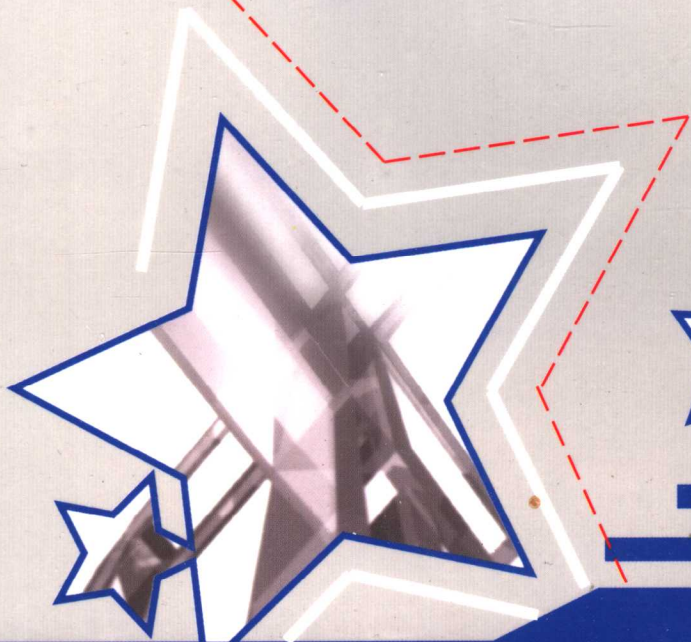


高级数控技工培训丛书



数控电火花加工

SUNNYTECH 浙大旭日—卫兵工作室
单岩 夏天 编著



 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

SUNNYTECH 浙大旭日-卫兵工作室

单岩 夏天 编著



机械工业出版社

数控加工是具有代表性的先进制造技术,电火花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。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 and 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。主要内容包括:实用数控电火花加工技术所必须掌握的基础知识,包括数控电火花基本原理、数控电火花机床简介;常用数控电火花机床的加工操作、工艺处理等;数控编程实例与练习。

本书可作为大中专数控技术、模具、机械制造、机电一体化等专业的课程教材以及数控技术培训教材,也可作为数控电火花机床操作与编程人员的自学教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花加工/单岩,夏天编著. —北京:机械工业出版社, 2005.1

(高级数控技工培训丛书)

ISBN 7-111-15483-5

I. 数... II. ①单...②夏... III. 数控机床—电火花加工—技术培训—教材 IV. TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 108720 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 版式设计:张世琴 责任校对:罗莉华
封面设计:鞠 杨 责任印制:施 红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5·7 印张·206 千字

0 001—4 000 册

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

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,甚至出现十几万元年薪“抢”人才的现象。

全球制造业正向中国转移,且这种趋势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,本套丛书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。

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

IV

有来自生产第一线、具有丰富实际经验的工程师，从而保证了丛书理论与实际应用的协调统一。

我们热切地期待广大读者对本套丛书提出宝贵意见，并通过网站 www.cad-lab.com 或电子信箱：book@sunnytech.cn 与我们进行交流。

浙大旭日-卫兵科技图书
高级数控技工培训丛书编委会

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 and 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.cad-lab.com/train/book 与我们交流。

编者

2004 年 9 月

目 录

丛书序言

前言

第 1 章 电火花加工技术概述	1
1.1 电火花的加工特点和应用范围	1
1.1.1 电火花成形加工的特点	1
1.1.2 电火花成形加工的应用范围	2
1.2 电火花加工原理	3
1.3 电火花加工的工艺类型及适用范围	4
1.4 电火花加工的局限性	6
1.5 电火花加工常用名词术语	7
1.6 电火花成形加工的现状和发展趋势	11
1.6.1 电火花成形加工的现状	11
1.6.2 电火花加工技术的发展	12
1.6.3 高速铣 HSM 与电火花加工 EDM 的工艺适应性	18
第 2 章 电火花加工设备	19
2.1 机床主体	19
2.1.1 床身和立柱	19
2.1.2 工作台	20
2.1.3 主轴头	20
2.1.4 主轴头和工作台的主要附件	21
2.2 脉冲电源	24
2.3 工作液循环过滤系统	27

2.4 电火花加工机床的伺服进给系统	29
2.4.1 伺服进给系统的基本组成部分	30
2.4.2 伺服进给系统的类型	32
2.4.3 伺服进给系统的类型特殊功能	34
2.5 数控电火花加工机床的数控系统	36
2.5.1 目前数控系统发展的总体趋势	36
2.5.2 电火花加工机床的数控系统	37
2.5.3 电火花加工机床的数控系统硬件	41
2.5.4 电火花机床控制柜	42
第3章 电火花加工工艺	44
3.1 电火花加工工艺规律	44
3.1.1 电火花加工的异常放电	44
3.1.2 表面变质层	47
3.1.3 电蚀产物	49
3.1.4 电极损耗	52
3.2 电极材料和电火花工作液	54
3.2.1 电极材料	54
3.2.2 电火花工作液	56
3.3 电火花加工工艺指标	60
3.3.1 表面粗糙度	60
3.3.2 电火花加工精度	62
3.3.3 电火花加工速度	64
3.4 选择加工规范	65
3.4.1 电规范及其对加工的影响	65
3.4.2 加工参数的调整	66
3.4.3 正确选择加工规范	68
第4章 电火花机床系统功能及操作	73
4.1 电火花加工操作流程	73
4.2 数控电火花机床的手动操作	74

4.3 数控电火花机床的操作屏操作	75
4.3.1 准备屏	76
4.3.2 自动生成程序及加工屏	84
4.3.3 编辑屏	88
4.3.4 配置屏	94
4.3.5 诊断屏	94
4.4 电火花加工的控制器操作	95
4.4.1 电火花加工步骤	95
4.4.2 电火花加工基本操作	96
4.5 电火花机床操作的注意事项	101
4.5.1 准备加工时的检查事项	101
4.5.2 加工之前的检查事项	103
4.5.3 加工中的检查事项	104
4.6 电火花机床加工的安全规程	105
4.6.1 电火花加工的安全技术规程	105
4.6.2 电火花机床的安全操作规程	107
4.7 电火花机床的维护和保养	108
第5章 电火花加工工具电极	110
5.1 电极材料	110
5.1.1 石墨	110
5.1.2 纯铜	111
5.1.3 铜钨合金与银钨合金电极	113
5.1.4 钢	114
5.1.5 电极材料的选择原则	115
5.2 电极设计	116
5.2.1 穿孔加工的电极设计	116
5.2.2 型腔加工的电极设计	120
5.2.3 电极结构设计	128
5.3 电极制造	129
5.3.1 电极制造方法	130

5.3.2 电极结构与装夹	131
5.3.3 石墨电极振动成形制造工艺	132
5.4 电极装夹与定位	134
5.4.1 电极装夹	134
5.4.2 定位	137
5.4.3 工艺基准定位系统的使用	139
第 6 章 多轴数控电火花的 ISO 编程	142
6.1 编程基础	142
6.1.1 地址与字	142
6.1.2 坐标系和坐标轴	143
6.1.3 程序段	144
6.1.4 程序运算	146
6.1.5 子程序	147
6.1.6 代码的初始设置	148
6.2 编程代码	148
6.2.1 G 编程代码	148
6.2.2 M 编程代码	157
6.2.3 转角 R 功能编程指令	159
6.2.4 T 编程代码	159
6.2.5 H 编程代码	160
6.3 C 轴数控编程	160
6.4 单电极加工多型腔笔杆注塑模编程实例	161
第 7 章 电火花穿孔加工与电火花型腔加工	164
7.1 电火花穿孔加工	164
7.1.1 电火花穿孔加工的特点	165
7.1.2 穿孔加工的工艺过程	166
7.1.3 穿孔加工的工艺方法	167
7.1.4 穿孔加工电极	170
7.1.5 电火花穿孔加工应注意的问题	173

7.1.6 电火花穿孔加工实例	173
7.2 电火花型腔加工	175
7.2.1 电火花型腔加工的工艺特点	175
7.2.2 型腔加工工艺	176
7.2.3 电火花加工中的冲、抽油	179
7.2.4 型腔加工的规准选择与转换	183
7.2.5 电极摇动加工	187
7.2.6 型腔电火花加工应注意的问题	189
7.2.7 电火花加工模具型腔的后继抛光及处理	191
7.2.8 电火花型腔加工实例	192
第8章 特种电火花加工技术	194
8.1 电火花磨削	194
8.1.1 电火花小孔磨削	194
8.1.2 低刚度细长锥形杆外圆磨削	195
8.1.3 轧辊电火花毛化	196
8.1.4 电火花铲磨硬质合金小模数齿轮滚刀	197
8.1.5 电火花对磨、跑合	197
8.2 电火花表面强化和刻字	198
8.2.1 金属电火花表面强化	198
8.2.2 电火花刻字工艺	199
8.3 高速小孔加工	200
8.3.1 深小孔高速电火花加工原理	200
8.3.2 高速电火花小孔加工工艺分析	201
8.3.3 高速电火花小孔加工过程	205
附录 电火花加工工(含电火花线切割加工工)	
工人技术等级标准	207
参考文献	212

第 1 章 电火花加工技术概述

电火花加工又称放电加工 (Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 也有称为电脉冲加工的, 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, 工具和工件不接触, 而是靠工具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。由于放电过程可见到火花, 所以称为电火花加工。

1.1 电火花的加工特点和应用范围

1.1.1 电火花成形加工的特点

电火花加工不用机械能量, 不靠切削力去除金属, 而是直接利用电能和热能来去除金属, 已成为常规切削、磨削加工的重要补充, 相对于机械切削加工而言, 电火花加工具有以下一些特点:

(1) 适合于用传统机械加工方法难以加工的材料加工。因为材料的去除是靠放电热蚀作用实现的, 材料的加工性主要取决于材料的热学性质, 如熔点、比热容、导热系数(热导率)等, 几乎与其硬度、韧性等力学性能无关。工具电极材料不必比工件硬, 所以电极制造相对比较容易。

(2) 可加工特殊及复杂形状的零件。由于电极和工件之间没有相对切削运动, 不存在机械加工时的切削力, 因此适宜于低刚度工件和细微加工。由于脉冲放电时间短, 材料加工表面受热影响范围比较小, 所以适宜于热敏性材料的加工。此外, 由于可以简单地将工具电极的形状复制到工件上, 因此特别适用于薄壁、低刚性、弹性、微细及复杂形状表面的加工, 如复杂的型腔模具的加工。

(3) 可实现加工过程自动化。加工过程中的电参数较机械量易于实现数字控制、自适应控制、智能化控制, 能方便地进行粗、半精、

精加工各工序, 简化工艺过程。在设置好加工参数后, 加工过程中无需进行人工干涉。

(4) 可以改进结构设计, 改善结构的工艺性。采用电火花加工后可以将拼镶、焊接结构改为整体结构, 既大大提高了工件的可靠性, 又大大减少了工件的体积和质量, 还可以缩短模具加工周期。

(5) 可以改变零件的工艺路线。由于电火花加工不受材料硬度影响, 所以可以在淬火后进行加工, 这样可以避免淬火过程中产生的热处理变形。如在压铸模或者锻压模制造中, 可以将模具淬火到大于 56HRC 的硬度。

1.1.2 电火花成形加工的应用范围

由于电火花加工有其独特的优越性, 再加上数控水平和工艺技术的不断提高, 其应用领域日益扩大, 已经覆盖到机械、宇航、航空、电子、核能、仪器、轻工等部门, 用以解决各种难加工材料、复杂形状零件和有特殊要求的零件的制造, 成为常规切削、磨削加工的重要补充和发展。模具制造是电火花成形加工应用最多的领域, 而且非常典型。以下简单介绍电火花加工在模具制造中的主要应用:

(1) 高硬度零件加工。对于某些要求硬度较高的模具, 或者是硬度要求特别高的滑块、顶块等零件, 在热处理后其表面硬度高达 50HRC 以上, 采用机加工方式将很难加工这么高硬度的零件, 采用电火花加工则可以不受材料硬度的影响。

(2) 型腔尖角部位加工。如锻模、热固性和热塑性塑料模、压铸模、挤压模、橡皮模等各种模具的型腔常存在着一些尖角部位, 在常规切削加工中由于存在刀具半径而无法加工到位, 使用电火花加工可以完全成型。

(3) 模具上的筋加工。在压铸件或者塑料件上, 常有各种窄长的加强筋或者散热片, 这种筋在模具上表现为下凹的深而窄的槽, 用机加工的方法很难将其加工成形, 而使用电火花可以很便利地进行加工。

(4) 深腔部位的加工。由于机加工时, 没有足够长度的刀具, 或者这种刀具没有足够的刚性, 不能加工具有足够精度的零件, 此时可以用电火花进行加工。

(5) 小孔加工。对各种圆形小孔、异形孔的加工，如线切割的穿丝孔、喷丝板型孔等，对于长深比非常大的深孔，很难采用钻孔方法加工，而采用电火花或者专用的高速小孔加工机可以完成各种深度的小孔加工。

(6) 表面处理。如刻制文字、花纹，对金属表面的渗碳和涂覆特殊材料的电火花强化等。另外通过选择合理加工参数，也可以直接用电火花加工出一定形状的表面蚀纹。

1.2 电火花加工原理

电火花加工的原理如图 1-1 所示。工件 1 与工具 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相当的放电间隙。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。当这种过程以相当高的频率重复进行时，工具电极不断地调整与工件的相对位置，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。

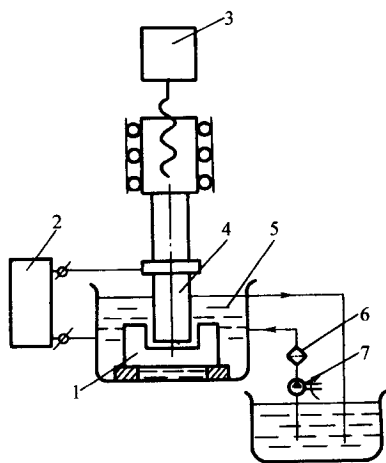


图 1-1 电火花加工原理图

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

基于上述原理，进行电火花加工应具备下列条件：

(1) 在脉冲放电点必须有足够大的能量密度，能使金属局部熔化

和气化,并在放电爆炸力的作用下,把熔化的金属抛出来。为了使能量集中,放电过程通常在液体介质中进行。

(2) 工具电极和工件被加工表面之间经常保持一定的放电间隙。这一间隙随加工条件而定,通常为几微米至几百微米。如果间隙过大,极间电压不能击穿极间介质。因此,在电火花加工过程中必须具有工具电极的自动进给和调节装置。

(3) 放电形式应该是脉冲的,放电时间要很短,一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ s。这样才能使放电所产生的热量来不及传导扩散到其余部分,将每次放电点分布在很小的范围内,否则像持续电弧放电,产生大量热量,只是金属表面熔化、烧伤,只能用于焊接或切割。

(4) 必须把加工过程中所产生的电蚀产物(包括加工焦、焦油、气体之类的介质分解产物)和余热及时地从加工间隙中排除出去,保证加工能正常地持续进行。

(5) 在相邻两次脉冲放电的间隔时间内,电极间的介质必须能及时消除电离,避免在同一点上持续放电而形成集中的稳定电弧。

(6) 电火花放电加工必须在具有一定绝缘性能的液体介质中进行,例如煤油、皂化液或去离子水等。液体介质又称工作液,必须具有较高的绝缘强度($10^3 \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$),以利于产生脉冲性的放电火花。同时,工作液应能及时清除电火花加工过程中产生的金属小屑、碳黑等电蚀产物,并且对工具电极和工件表面有较好的冷却作用。

1.3 电火花加工的工艺类型及适用范围

电火花加工按工具电极和工件相对运动的方式和用途不同,大致可分为电火花穿孔成形加工、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、电火花表面强化和刻字6大类。前5类属电火花成形、尺寸加工,是用于改变工件形状或尺寸的加工方法;后者属表面加工方法,用于改善或改变零件表面性质。表1-1为各种电火花加工工艺类型的主要特点和应用。本书重点讲述电火花成形加工和电火花穿孔加工。

表 1-1 电火花加工工艺类型的主要特点和应用

类别	工艺类型	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、各种异性孔和微孔 (2) 型腔加工: 加工各类型腔模和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) 工具和工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动 (2) 工具电极为顺电极丝轴线垂直移动的线状电极	(1) 切割各种冲模和具有直纹面的零件 (2) 下料、切割和窄缝加工	约占电火花机床总数的 60%, 典型机床有 DK7725、DK7740 等数控电火花线切割机床
3	电 火 花 磨 削 和 镗 磨	(1) 工具和工件间有径向和轴向的进给运动 (2) 工具和工件有相对的旋转运动	(1) 加工高精度、表面粗糙值小的小孔, 如拉丝模、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) 工具相对工件可作纵、横向进给运动 (2) 成形工具和工件均作旋转运动, 但二者角速度相等或成倍整数, 相对应接近的放电点可有切向相对运动速度	以同步回转、展成回转、倍角速度回转等不同方式, 加工各种复杂型面的零件, 如高精度的异形齿轮、精密螺纹环规, 高精度、高对称、表面粗糙值小的内、外回转体表面	小于电火花机床总数的 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) 采用细管电极 ($> \phi 0.3\text{mm}$), 管内冲入高压水工作液 (2) 细管电极旋转 (3) 穿孔速度很高 ($30 \sim 60\text{mm/min}$)	(1) 线切割预穿丝孔 (2) 孔径比很大的小孔, 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 和 刻 字	(1) 工具相对工件移动 (2) 工具在工件表面上振动, 在空气中放火花	(1) 模具刃口、刀具、量具刃口表面强化和镀覆 (2) 电火花刻字、打印机	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