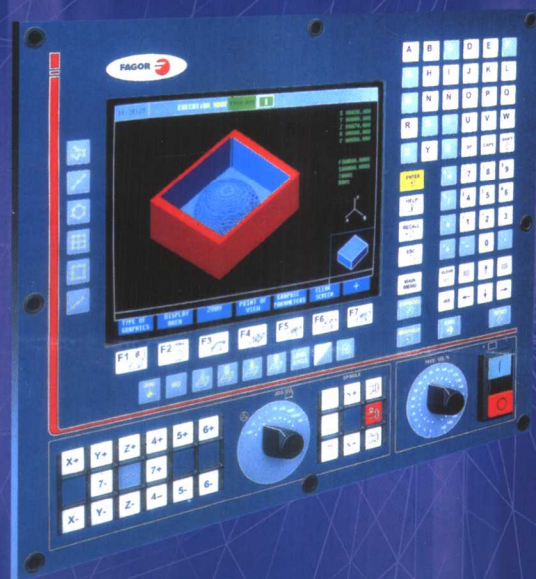


数控机床技术工人培训读本

数控电加工机床

第二版

罗学科 谢富春 李跃中 等编



化学工业出版社

本书是《数控机床技术工人培训读本》第二版之一。内容主要包括数控电火花成形加工以及数控线切割快走丝和慢走丝加工。电火花成形部分主要介绍电火花加工的基础知识,电火花机床的典型结构和编程知识,电火花加工工艺知识,并给出了一些加工实例。数控线切割加工部分,分别讲述了线切割加工的基础知识,快速走丝线切割加工机床的典型结构,手工编程和自动编程知识,慢速走丝加工机床的典型结构,操作、加工工艺和典型零件的加工工艺,并基于北航海尔的CAXA XP线切割软件介绍了数控线切割自动编程技术。另外,还简要介绍了数控电加工机床的精度检验、安装调试和操作维护及出现加工问题时的解决方法。

相对于第一版,本版编写贯彻职业技能培训要求,结合数控技术发展和广大读者使用后的建议,增加了数控线切割慢走丝基本知识、加工工艺和典型实例,全面更新了数控自动编程内容,采用CAXA软件,并对典型实例进行了更新。

本书可作为数控电加工机床技术工人的培训教材,也可供传统制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识使用,还可作为职业院校数控、机电一体化专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控电加工机床/罗学科等编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2006.12

(数控机床技术工人培训读本)

ISBN 978-7-5025-9837-2

I. 数… II. 罗… III. 数控机床:电加工机床-技术培训-教材 IV. TG661

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第161350号

责任编辑:张兴辉 王 烨

装帧设计:潘 峰

责任校对:陈 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张18½ 字数354千字 2007年3月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

《数控机床技术工人培训读本》 编写委员会

主 任 罗学科

副主任 张超英 陈晓光 徐宏海

委 员 (按姓氏笔画排序)

马天颖	牛小铁	王风霞	王孝忠
刘 瑛	朱运利	余圣梅	张超英
李 凯	李跃中	周国烛	罗学科
郑张龙	郑 青	赵玉侠	徐宏海
高 屏	高德文	阎红娟	谢富春
魏晓东			

第一版序

机械制造业是国民经济的支柱产业。据统计,美国 68% 的社会财富来源于制造业,日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的,我国的制造业在工业总产值中也占有 40% 的比例。可以说,没有发达的制造业,就不可能有国家的真正繁荣和富强。而机械制造业的发展规模和水平,则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更新产品,是机械制造业竞争和发展的基础,也是机械制造业技术水平的标志。

20 世纪 50 年代初第一台数控机床的出现,使制造技术的发展出现了日新月异的局面,数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业,生物技术及其产业,航空、航天等国防工业产业)的使能技术和最基本的装备。马克思曾经说过“各种经济时代的区别,不在于生产什么,而在于怎样生产,用什么劳动资料生产”。制造技术和装备就是人类生产活动的最基本的生产资料,而数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

我国在加入 WTO 后,制造业获得了前所未有的发展机遇,世界各国都期望中国能够抓住机会,在战略目标的确定和产业结构的调整方向能与现有的制造业基础相符合。然而,我们不得不注意在人才培养上的“离制造业”现象,全国人大常委会委员长吴邦国同志在出席 2002 年 7 月在北京举行的全国职业教育工作会议上发表了《加强职业教育和培训,提高职工队伍素质和企业竞争力》的讲话,他在讲话中指出“我国职工队伍的整体素质还比较低,高级技工严重缺乏。全国仅数控机床的操作工就短缺 60 万人。杭州汽轮机厂需要 260 名数控技工,参加十多场招聘会,月薪提到 6000 元,还招不到合适人选。我国高级技工占技工总数的比例只有 3.5%,与发达国家 40% 的比例相差甚远。”不难看出培养数控高级操作人员的重要性和迫切性。

《数控机床技术工人培训读本》就是在这种情况下为技术工人学习数控技术编写的。这套读本既可以作为传统制造业技术工人更新知识,提高职业技能,学习数控知识用,也可作为培训新技术工人数控知识的培训教材。全套共 4 册,近 150 万字,包括《数控车床》、《数控铣床》、《数控加工中心》、《数控电加工机床》。在编写上突出了实用特点,通俗易懂,便于自学。

《数控机床技术工人培训读本》既参考了国内外相关领域的书籍和资料,也

融会了作者们长期以来的教学实践和研究心得，特别是北方工业大学机电中心 5 年来在国家级高职数控技术专业教学改革试点中的教学经验和教训。它的出版对推动机械制造企业采用新的数控技术、改造和提升传统产业将会产生积极的影响。

《数控机床技术工人培训读本》立足于应用，面向技术工人和工程技术人员。在内容组织和编排上图文并茂、通俗易懂，特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践，为企业培训数控技术应用人才提供了参考书籍，对相关工程技术人员也是一套很有益的参考书。

工学博士、机械工程教授 罗学科

第二版序

我国制造业的劳动生产率比较低，劳动力素质是一个重要制约因素。在发达国家制造业中，高级技师及技师、高级工、初级工及中级工的比例为 35 : 50 : 15，我国沿海一个省会城市的抽样调查比例为 2 : 4 : 94。先进的技术可以引进，现代的管理模式可以借鉴，高精尖人才也可以引进，但大批量的技术工人是不可能引进的，只能靠职业教育来解决。以数控加工行业为例，目前我国数控技术应用领域操作人员需增加 100 万人左右。基于这种情况，我们于 2003 年组织编写了《数控机床技术工人培训读本》，针对职业教育和数控技术工人的培训，出版发行后取得了非常好的效果，近三年来多次重印，并且这套读本被中国书刊发行业协会评为 2004 年度全国优秀畅销书（科技类）。

在近三年的时间里，我们也收到了一些读者的来信和电子邮件，就书中的问题和我们交换意见，指出了书中的一些不妥之处。另外，近几年来，数控技术发展很快，《数控机床技术工人培训读本》第一版中的许多内容已经陈旧，并且职业教育培训体系不断完善，教学模式较以前有了很大的变化。在这种情况下，我们编委会研究制定了修订计划和修订大纲，重新修订和编写了有关内容。现在这套读本的第二版就要陆续与读者见面了，我们也借此机会向关心、支持、使用《读本》的广大热心读者表示衷心感谢！

《数控机床技术工人培训读本》编委会

前 言

电加工又称放电加工,是一种直接利用电能和热能进行加工的新工艺。电加工与金属切削加工的原理完全不同,在加工过程中,工具和工件并不接触,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。由于放电过程中可见到火花,故称之为电火花加工,日本、英国、美国称之为放电加工,俄罗斯称之为电蚀加工。目前这一工艺技术已广泛用于加工淬火钢、不锈钢、模具钢、硬质合金等难加工材料;用于加工模具等具有复杂表面的零部件,在民用和国防工业中获得愈来愈多的应用,已成为切削加工的重要补充和发展。数控技术的发展,使电加工技术的应用更具有优势,特别是数控电火花成形机和数控电火花线切割机床在模具制造业等行业得到了非常广泛的应用。目前,急需培养一大批能够熟练掌握电加工机床编程、操作和维护的应用型技术人才。

本书主要包括数控电火花成形加工和数控线切割快走丝和慢走丝加工的内容。电火花成形加工部分主要讲述了电火花加工的基础知识,电火花机床的典型结构、加工工艺和编程,并给出了一些加工实例。在数控线切割加工部分,分别讲述了线切割加工的基础知识,快走丝线切割加工机床的典型结构,手工编程和自动编程知识,慢走丝加工机床的典型结构,操作、加工工艺和典型零件的加工工艺,并基于北航海尔的CAXA XP线切割软件介绍了数控线切割自动编程技术。另外,还简要介绍了数控电加工机床的精度检验、安装调试和操作、维护及出现加工问题时的解决方法。

本次修订在保留了第一版编写体系和特点的基础上,贯彻职业技能培训的要求,结合数控技术发展的最新成果和广大读者使用后的建议,作了如下修订。

1. 增加数控线切割慢走丝加工基本知识、加工工艺和典型实例;
2. 全面更新了数控自动编程的内容,采用了CAXA线切割XP软件;
3. 对典型的实例进行了更新。

本书由北方工业大学罗学科、谢富春和沈阳航空学院李跃中等编写,全书由罗学科统稿。

本书可作为数控电加工机床技术工人的培训教材,也可供传统制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识实用。还可作为职业院校数控、机电一体化专业的教材。

本书编写过程中,参阅了国内外同行有关资料、文献和教材,得到了许多专家和同行的支持与帮助,并得到了北方工业大学领导的关心和大力支持,在此一

并表示感谢。

由于编者水平有限，以及技术的迅速发展，所以书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 电火花加工的基础知识	1
1.1 电火花加工的基本原理	1
1.2 电火花加工的特点和适用范围	3
1.3 电火花加工的机理	4
1.4 电火花加工常用术语和符号	8
1.5 电火花加工工艺方法的分类	14
第 2 章 电火花加工的机床设备及其安装调试	16
2.1 电火花加工机床及其组成	16
2.2 电火花穿孔成形加工机床主机各部分及其作用	18
2.2.1 HCD300K 电火花加工机床简介	18
2.2.2 电火花穿孔成形加工机床主机各部分及其作用	20
2.3 电火花加工用的工作液过滤系统	25
2.4 电火花加工用的脉冲电源	26
2.5 电火花加工用的伺服进给系统	34
2.6 加工过程中的参数控制	42
2.7 电火花加工的数控系统	45
2.8 电火花加工机床主要精度和技术指标检验	50
2.9 电火花加工的安全技术规程	59
2.10 发现和排除常用电火花加工机床的一般故障及加工中的不正确现象	61
第 3 章 电火花加工工艺中的基本规律	64
3.1 影响材料放电腐蚀量的主要因素	64
3.2 影响电火花加工精度的主要因素	67
3.3 电火花加工的表面质量	69
3.4 电火花加工工艺参数选择及工艺参数曲线图表	72
第 4 章 电火花加工工艺和加工实例	84
第 5 章 数控电火花快走丝线切割的基本知识	90
5.1 电火花快走丝线切割的工作原理	90
5.2 数控电火花快走丝线切割机床的型号及主要技术参数	92
5.3 数控电火花快走丝线切割加工的安全技术规程	94
5.4 数控电火花快走丝线切割机床的使用规则及维护保养方法	95
5.4.1 数控电火花快走丝线切割机床的使用规则	95

5.4.2	数控电火花快走丝线切割机床的保养方法	95
5.4.3	交流稳压电源的使用方法	96
5.5	电加工的主要名词术语	96
第6章	数控电火花快走丝线切割机床的结构与安装调试	101
6.1	典型线切割机床的技术参数	101
6.2	机床工作台结构	102
6.3	储丝走丝部件的结构	106
6.4	线架、导轮部件的结构	111
6.5	工作液系统	115
6.6	换向切断高频、走丝换向调节及超程保险	116
6.7	进电方式	116
6.8	机床电器	117
6.9	机床的润滑	119
6.10	DK7725 数控线切割机床的安装和调试	120
6.11	电火花快走丝线切割机床的精度检验方法	122
6.11.1	电火花快走丝线切割机床精度检验的常用量具	122
6.11.2	机床几何精度的检验	125
6.11.3	机床数控精度的检验	127
6.11.4	工作精度	129
6.12	DK7725 数控线切割机床常见故障的排除	130
第7章	数控线切割手工编程	132
7.1	3B 代码编程	132
7.2	4B 代码编程	139
7.3	ISO 代码编程	141
第8章	数控线切割自动编程	148
8.1	CAXA 线切割 XP 系统简介	148
8.2	CAXA 线切割 XP 用户界面与绘图	149
8.2.1	用户界面	149
8.2.2	基本操作	151
8.2.3	菜单命令系统简介	153
8.3	CAXA 线切割 XP 快速入门	158
8.4	数控线切割自动编程基础	160
8.4.1	轮廓	160
8.4.2	加工误差与步长	160
8.4.3	拐角处理	161
8.4.4	切入方式	161
8.4.5	拟合方式	161

8.5 轨迹生成	162
8.5.1 概述	162
8.5.2 轨迹生成	162
8.5.3 轨迹跳步	163
8.5.4 取消跳步	164
8.5.5 轨迹仿真	164
8.5.6 计算切割面积	165
8.6 代码生成	165
8.6.1 概述	165
8.6.2 生成 3B 代码	165
8.6.3 生成 4B/R3B 代码	166
8.6.4 校核 B 代码	166
8.6.5 生成 G 代码	166
8.6.6 校核 G 代码	167
8.6.7 查看/打印代码	167
8.7 代码传输与后置设置	167
8.7.1 概述	167
8.7.2 应答传输	168
8.7.3 同步传输	169
8.7.4 串口传输	169
8.7.5 纸带穿孔	169
8.7.6 机床设置	170
8.7.7 后置设置	174
8.7.8 R3B 设置	176
8.8 零件设计	177
8.8.1 齿轮设计	177
8.8.2 花键设计	177
8.9 典型零件数控线切割自动编程实例	179
第 9 章 快走丝线切割加工工艺与加工技巧	183
9.1 电火花快走丝线切割加工的步骤及要求	183
9.1.1 对工件图纸进行审核与分析	183
9.1.2 加工前的工艺准备、加工与检验	184
9.2 工件的正确装卡方法和常用工具介绍	188
9.3 工作液对工艺指标的影响	198
9.4 电极丝对线切割工艺性能的影响	200
9.5 线切割工艺参数的选择	203
9.6 电火花快走丝线切割加工产生废品的原因及预防方法	210

9.7 电火花快走丝线切割加工的某些工艺技巧	211
第 10 章 数控低速走丝线切割	216
10.1 数控慢走丝电火花线切割加工技术基础	216
10.2 数控慢走丝电火花线切割机床结构组成与性能	217
10.2.1 低速走丝线切割机床的结构组成	217
10.2.2 低速走丝线切割机床的技术功能	220
10.3 机床操作面板	222
10.3.1 机械操作面板功能简介	222
10.3.2 手动操作面板功能简介	224
10.3.3 数控面板功能简介	226
10.4 基本操作方法	228
10.4.1 机床电源的启动和关闭	228
10.4.2 电极丝的挂接与调整	229
10.4.3 工件的装卡与位置调整	231
10.5 程序编写与空运行调试	233
10.5.1 程序格式及编程方法	233
10.5.2 编程实例	236
10.5.3 程序输入调试	237
10.6 综合编程加工技术	240
10.6.1 线径补偿的应用	240
10.6.2 镜像、旋转与缩放处理技术	243
10.6.3 程序调试技巧	245
10.6.4 放电加工控制	247
10.7 锥度切割的编程及实现	249
10.7.1 锥度加工的实现机理	249
10.7.2 锥度加工数据的设定	250
10.7.3 锥度加工的编程	251
10.8 机床维护与故障处理	253
10.8.1 机械部分的维护	253
10.8.2 故障跟踪及处置	254
第 11 章 数控低速走丝线切割加工工艺及应用	260
11.1 加工工艺指标	260
11.2 加工的基本工艺规律	261
11.2.1 电参数对工艺指标的影响	262
11.2.2 非电参数对工艺指标的影响	264
11.3 低速走丝线切割加工工艺	271
11.3.1 低速走丝线切割加工工艺步骤	272

11.3.2 加工前的准备工作	273
第 12 章 典型零件加工实例	275
12.1 小批量零件加工工艺方法	275
12.2 齿轮加工工艺方法	275
12.3 无芯切割的加工工艺方法	277
12.4 锥度切割的加工工艺方法	277
参考文献	281

第 1 章 电火花加工的基础知识

电火花加工又称放电加工 (Electrical Discharge Machining, 简称 EDM), 是一种直接利用电能和热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, 工具和工件并不接触, 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。由于放电过程中可见到火花, 故称之为电火花加工。日本、英国、美国称之为放电加工, 俄罗斯称之为电蚀加工。目前这一工艺技术已广泛用于加工淬火钢、不锈钢、模具钢、硬质合金等难加工材料, 以及用于加工模具等具有复杂表面的零部件, 在民用和国防工业中获得愈来愈多的应用, 已成为切削加工的重要补充和发展。

1.1 电火花加工的基本原理

电火花加工的原理是基于工具和工件 (正、负电极) 之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余的金属, 以达到对零件的尺寸、形状及表面质量预定的加工要求。电腐蚀现象早在 20 世纪初就被人们发现, 例如在插头或电器开关触点开、闭时, 往往产生火花而把接触表面烧毛, 腐蚀成粗糙不平的凹坑而逐渐损坏。长期以来, 电腐蚀一直被认为是一种有害的现象, 人们不断地研究电腐蚀的原因并设法减轻和避免电腐蚀的发生。但事物都是一分为二的, 只要掌握规律, 在一定条件下可以把坏事转化为好事, 把有害变为有用。1940 年前后, 前苏联科学院电工研究所拉扎连柯夫妇的研究结果表明, 电火花腐蚀的主要原因是: 电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热, 达到很高的温度, 足以使任何金属材料局部熔化、汽化而被蚀除掉, 形成放电凹坑。这样, 人们在研究抗电腐蚀办法的同时, 开始研究利用电腐蚀现象对金属材料进行尺寸加工, 终于在 1943 年拉扎连柯夫妇利用电容器反复充电放电的原理研制出世界上第一台实用化的电火花加工装置, 并申请了发明专利, 并在以后的生产中不断推广应用, 拉扎连柯因此被评为前苏联科学院院士。

实践经验表明, 要把有害的火花放电转化为有用的加工技术, 必须创造条件, 做到以下几点。

① 使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, 通常约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, 因而不会产生火花放电; 如果间隙过小, 很容易形成短路接触, 同样也不能产生火花放电。为此, 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。

② 使火花放电为瞬时的脉冲性放电，并在放电延续一段时间后，停歇一段时间（放电延续时间一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ s}$ ）。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，把每一次的放电点分别局限在很小的范围内，否则，像持续电弧放电那样，使放电点表面大量发热、熔化、烧伤，只能用于焊接或切割，而无法用作尺寸加工，故电火花加工必须采用脉冲电源。

③ 使火花放电在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火花放电。同时，液体介质还能把电火花加工过程中产生的金属小屑、炭黑等电蚀产物从放电间隙中悬浮排除出去，并且对工具电极和工件表面有较好的冷却作用。

以上问题的综合解决，是通过图 1-1 所示的电火花加工系统来实现的。工件与工具电极分别与脉冲电源的两输出端相连接。放电间隙自动控制系统使工具电极和工件间经常保持一很小的放电间隙，当脉冲电压加到两极之间时，便在当时条件下相对某一间隙最小处或绝缘强度最底处击穿介质，在该局部产生火花放电，瞬间高温使工具和工件表面都蚀除掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑，如图 1-2 所示。脉冲放电结束后，经过一段时间间隔（即脉冲间隔 t_0 ），使工作液恢复绝缘后，第二个脉冲电压又加到两极上，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，又电蚀出一个小凹坑。这样随着相当高的频率，连续不断地重复放电，工具电极不断地向工件进给，就可将工具端面 and 横截面的形状复制在工件上，加工出所需要的和工具形状阴阳相反的零件，整个加工表面将由无数个小凹坑所组成。

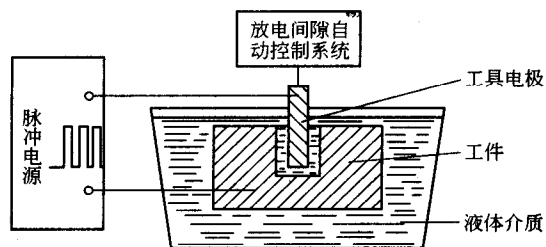


图 1-1 电火花加工原理示意图

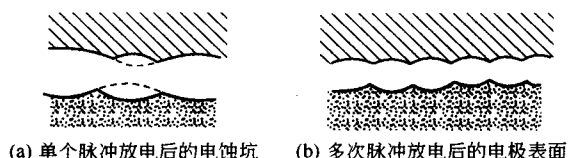


图 1-2 电火花加工表面局部放大图

1.2 电火花加工的特点和适用范围

(1) 电火花加工的特点和适用范围

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。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。

(2) 电火花加工的局限性

电火花加工也有其局限性, 具体表现在以下几方面。

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, 影响成形精度。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 0.02~0.3mm), 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。

由于电火花加工具有许多传统切削工艺所无法比拟的优点, 因此其应用领域日益扩大, 目前已广泛应用于机械 (特别是模具制造)、宇航、航空、电子、电机、精密微细机械、仪器仪表、汽车、轻工等行业, 以解决难加工材料及复杂形状零件的加工问题。加工范围已达到小至几十微米的小轴、孔、缝, 大到几米的超大型模具和零件。

1.3 电火花加工的机理

火花放电时, 表面的金属材料究竟是怎样被蚀除下来的, 这一微观的物理过程也就是电火花加工的物理本质, 或称机理。了解这一微观过程, 有助于掌握电火花加工工艺的基本规律, 对脉冲电源、进给装置、机床设备等提出合理的要求。从大量实验资料来看, 每次电火花腐蚀的微观过程都是电场力、磁力、热力、流体动力、电化学和胶体化学等综合作用的过程, 这一过程大致可分为以下四个连续阶段: 极间介质的电离、击穿, 形成放电通道; 介质热分解、电极材料熔化、汽化热膨胀; 电极材料的抛出; 极间介质的消电离。

(1) 极间介质的电离、击穿, 形成放电通道

如图 1-3 所示为矩形波脉冲放电时的电压 [见图(a)] 和电流波形 [见图(b)], 当脉冲电压施加于工具电极与工件之间时 (图 1-3 中 0~1 段和 1~2 段), 两极之间立即形成一个电场。电场强度与电压成正比, 与距离成反比, 随着极间电压的升高或是极间距离减小, 极间电场强度也将随着增大。由于工具电极和工件的微观表面是凸凹不平的, 极间距离又很小, 因而极间电场强度是很不均匀的, 两极间离得最近的突出点或尖端处的电场强度一般为最大。

液体介质中不可避免地含有某种杂质 (如金属微粒、炭粒子、胶体粒子等), 也有一些自由电子, 使介质呈现一定的电导率。在电场作用下, 这些杂质将使极间电场更不均匀, 当电极表面某处的电场强度增加到 10^5 V/mm ($100 \text{ V}/\mu\text{m}$) 左右时, 就会产生场致电子发射, 由阴极表面向阳极逸出电子。在电场作用下电子高速向阳极运动, 并撞击工作液介质中的分子或中性原子 (在化学、物理中任何分子都是由一种或多种元素的原子组成的。任何原子都是由带正电荷的原子核和围绕原子核高速运动着的带负电荷的电子所组成, 不同元素的原子有不同的电子数, 但整个原子的正、负电荷都相等, 因而是电中性的), 产生碰撞电离, 把最外层轨道上的负电子撞离出去, 形成带负电的粒子 (主要是电子) 和带正电的粒子 (原子核和轨道上剩余的电子构成的正离子), 导致带电粒子雪崩式增多, 使介质击穿而电阻迅速降低, 形成放电通道。这种由于电场强度增高引起电子发射形成的间隙击穿称为场致发射击穿。另有一种由于阴极表面温度高, 局部过热而引起大量电子发射形成的间隙击穿称为热击穿。电火花加工中, 热击穿过多, 易