

本书中应用实例入选高职高专**国家级精品课程特种加工技术**教学项目
(深圳职业技术学院 周旭光 副教授主讲)

数控电火花加工现场 应用技术 **精讲**

► 伍端阳 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控电火花加工 现场应用技术精讲

伍端阳 著



机械工业出版社

本书全面讲解数控电火花加工应用技术。全书共分为5章,第1章概述数控电火花加工的基础知识;第2章介绍数控电火花加工各个实践环节的要点与经验;第3章介绍数控电火花加工ISO编程;第4章精选企业典型的数控电火花加工实例进行剖析;第5章对数控电火花加工的应用技术进行综合探讨。本书内容丰富翔实、实用,对电加工行业具有指导意义。

本书可作为高等职业技术院校、中专院校、技校模具、数控技术、机械等专业的实训教材,也可作为数控电火花加工机床操作工的职业培训用书,还可供相关专业的工程师、技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花加工现场应用技术精讲/伍端阳著. —北京:机械工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-111-25607-6

I. 数… II. 伍… III. 数控机床-电火花加工 IV. TG661

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第180987号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍

版式设计:霍永明 责任校对:李 婷

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京富生印刷厂印刷

2009年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 17.5印张 · 427千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25607-6

定价:35.00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

前 言

数控电火花加工是一门重要的特种加工技术，它在模具制造、航空、电子、核能、仪器、轻工等部门用来解决各种复杂形状零件和难加工材料的加工问题。

本书将系统地讲解数控电火花加工技术，具有以下特点：

1. 讲解专一，专注讲解电火花成形加工

本书专注讲解特种加工技术中的电火花成形加工应用技术，不像其他书籍那样笼统地介绍各种加工技术。这样对于数控电火花加工的知识介绍更全面，讲解得更加透切，使读者能够真正弄透一门技术。

2. 内容实用，素材源于生产实践经验

笔者在企业从事电加工应用工作多年，积累了较丰富的工作经验。因此，全书的内容与生产紧密联系，切实注重企业的工作模式，避免讲述深奥的原理，更多地将自己的实践工作经验倾注书中。

3. 应用实例多，具有实际指导意义

本书讲解了12个典型的电火花加工应用实例，如手机模、塑封模、扎带模、瓶口螺纹、锥齿轮锻模等。这些实例都是笔者工作中亲身体验的总结，对加工具有实际指导意义。

4. 技术前沿，介绍当前先进的数控技术

本书介绍当前先进的数控电火花加工技术，如精密电火花加工、镜面电火花加工、微细电火花加工。书中不再介绍将逐步被淘汰的传统电加工技术。

本书对于从事模具制造等行业的工程技术人员来说，可帮助他们快速提升技术水平，某些应用技术的疑点可在本书中找到圆满的答案；对于职业院校模具、数控技术、机械等专业的教师与学生来说，能使他们感受到真实的企业加工技术，达到学以致用、学以致用的教学目的。

笔者编写本书，希望能为电加工行业提供一些实际指导，将自己有限的经验发挥最大的价值。在这里祝愿我国电加工事业蓬勃发展。

本书的编写得到了北京阿奇夏米尔技术服务有限公司、三菱电机自动化（上海）有限公司的鼎力支持，深圳职业技术学院机电学院周旭光副教授提出了不少宝贵的意见，在此表示由衷的感谢！

由于笔者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望各位读者和同仁提出宝贵意见。笔者邮箱：wdyano@126.com。

伍端阳

目 录

前言

第1章 数控电火花加工技术基础	1
1.1 电火花加工的产生、物理本质及实现条件	2
1.1.1 电火花加工的产生	2
1.1.2 电火花加工的物理本质	2
1.1.3 实现电火花加工的条件	4
1.2 电火花加工的两个重要效应	5
1.2.1 极性效应	5
1.2.2 覆盖效应	6
1.3 电火花加工的特点及应用	7
1.3.1 电火花加工的特点	7
1.3.2 电火花加工的局限性	8
1.3.3 电火花加工的应用范围	8
1.4 电火花加工的主要工艺指标及其影响因素	12
1.4.1 加工速度	12
1.4.2 电极损耗	14
1.4.3 表面粗糙度	16
1.4.4 放电间隙	18
1.5 数控电火花加工的工艺方法	19
1.5.1 单电极直接成形工艺	19
1.5.2 多电极更换成形工艺	20
1.5.3 分解电极成形工艺	20
1.5.4 数控平动成形工艺	21
1.5.5 数控多轴联动成形工艺	23
1.6 模具企业数控电火花加工的工艺流程	24
1.6.1 模具电火花加工的工艺确定	25
1.6.2 对工件轮廓进行预加工	25
1.6.3 电极的设计与制造	26
1.6.4 工件、电极的装夹与校正	26
1.6.5 加工的定位	27
1.6.6 电参数的配置	27
1.6.7 加工过程的监控	28
1.7 先进的数控电火花加工机床	28
1.7.1 认识先进的数控电火花加工机床	28

1.7.2 数控电火花加工机床的功能	29
1.7.3 数控电火花加工机床的电极自动交换装置和 C 轴装置	35
第 2 章 数控电火花加工应用技术要点精讲	39
2.1 设计电极	40
2.1.1 电极的结构形式	40
2.1.2 设计电极的经验	42
2.1.3 电极缩放量的确定	44
2.2 选择电极材料	47
2.2.1 纯铜电极材料	47
2.2.2 石墨电极材料	48
2.2.3 铜钨合金电极材料	49
2.2.4 电极材料的综合考虑	50
2.3 制造电极	50
2.3.1 制造电极的工艺	50
2.3.2 电极的制造方法	52
2.4 工件的装夹与校正	55
2.4.1 工件的装夹方法	55
2.4.2 工件的装夹要点与经验	57
2.4.3 工件的校正方法	58
2.4.4 工件的校正要点与经验	60
2.5 电极的装夹	60
2.5.1 自动装夹电极	60
2.5.2 手动装夹电极	64
2.5.3 装夹电极的要求与经验	65
2.6 电极的校正	66
2.6.1 自然校正	66
2.6.2 人工校正	66
2.6.3 校正电极的要求与经验	69
2.7 电极与工件之间的定位	69
2.7.1 常用的定位方式	69
2.7.2 电极与工件进行接触感知的定位方法	71
2.7.3 基准球测量的定位方法	72
2.7.4 其他定位方法	74
2.7.5 多工件的定位方法	76
2.7.6 定位的要求与经验	76
2.8 平动加工	77
2.8.1 圆轨迹平动	77
2.8.2 方轨迹平动	77
2.8.3 3D 球轨迹平动	78

2.9 加工条件转换	79
2.9.1 转换加工条件的原理	79
2.9.2 加工条件的设定	80
2.9.3 转换加工条件的进给量	81
2.9.4 加工条件转换举例	82
2.9.5 锥形型腔加工过程中加工条件的转换	84
2.10 电参数配置与优化	86
2.10.1 电火花加工的三大电参数	86
2.10.2 数控电火花加工机床常用的电参数	89
2.10.3 防止发生拉弧现象	91
2.11 工作液处理方式	92
2.11.1 冲液方式	92
2.11.2 无冲液方式	95
2.12 数控电火花加工阶段	96
2.12.1 起动加工前的检查	96
2.12.2 起动加工的操作顺序	97
2.12.3 数控电火花加工结束后的自检及清理	98
第3章 数控电火花加工 ISO 编程精讲	101
3.1 数控电火花加工 ISO 编程基础	102
3.1.1 数控电火花加工编程概述	102
3.1.2 编程的常识	104
3.1.3 程序的构成	106
3.2 数控电火花加工常用指令	110
3.2.1 G 指令	110
3.2.2 其他指令	111
3.3 数控电火花加工编程的思维模式及方法	112
3.3.1 数控程序编写的规律及执行规则	112
3.3.2 数控电火花加工编程的技巧	112
3.3.3 数控电火花加工编程误点分析	115
3.3.4 不同数控电火花加工机床编程的异同分析	116
3.4 数控电火花加工编程综合实例	117
3.4.1 单型腔加工编程实例	118
3.4.2 多型腔加工编程实例	121
3.4.3 基准球定位编程实例	123
3.4.4 多工件加工编程实例	129
3.4.5 多型腔笔杆注塑模加工编程实例	133
3.4.6 多型孔模芯加工编程实例	136
3.4.7 横向伺服加工编程实例	137
3.4.8 电极斜向清角加工编程实例	139

3.4.9 潜伏式浇口加工编程实例	142
3.4.10 多轴联动加工编程实例	143
3.4.11 侧壁圆形沟槽加工编程实例	146
3.4.12 C 轴加工内螺纹编程实例	147
3.4.13 C 轴转换方向加工编程实例	148
第4章 数控电火花加工现场应用实例精讲	151
4.1 注塑模排气镶块的电火花加工	152
4.1.1 注塑模排气镶块	152
4.1.2 排气镶块工件准备	152
4.1.3 排气镶块加工电极准备	153
4.1.4 排气镶块电火花加工操作	153
4.1.5 排气镶块电火花加工规准、加工效果	154
4.1.6 排气镶块电火花加工要点	154
4.2 螺纹塞子哈夫模具滑块的电火花加工	154
4.2.1 螺纹塞子哈夫模具	154
4.2.2 哈夫滑块工件准备	155
4.2.3 螺纹电极准备	156
4.2.4 哈夫滑块电火花加工操作	157
4.2.5 哈夫滑块电火花加工规准、加工效果	157
4.2.6 哈夫滑块电火花加工要点	158
4.3 集成电路塑封模具的电火花加工	158
4.3.1 集成塑封模具	158
4.3.2 塑封模工件准备	159
4.3.3 塑封模加工电极准备	160
4.3.4 塑封模电火花加工操作	161
4.3.5 塑封模电火花粗、中、精加工工艺	164
4.3.6 塑封模电火花加工效果	165
4.3.7 塑封模电火花加工要点分析	166
4.4 扎带塑料模具的电火花加工	167
4.4.1 扎带塑料模具	167
4.4.2 扎带塑料模具电火花加工工艺	168
4.4.3 扎带塑料模具电火花粗、中、精加工工艺	169
4.4.4 扎带塑料模电火花加工效果	170
4.4.5 扎带塑料模具电火花加工注意事项	170
4.5 精密电子产品滑块的电火花加工	171
4.5.1 精密电子产品模具	171
4.5.2 滑块工件准备	172
4.5.3 滑块加工电极准备	172
4.5.4 滑块电火花加工操作	172



4.5.5 滑块电火花加工规准、加工效果·····	173
4.6 手机模具型腔的电火花加工 ·····	174
4.6.1 手机模具·····	174
4.6.2 手机模具工件准备·····	174
4.6.3 手机模具加工电极准备·····	175
4.6.4 手机模具电火花加工操作与要点·····	175
4.6.5 手机模具电火花加工规准、加工效果·····	176
4.6.6 混粉加工工艺分析·····	176
4.7 可乐瓶螺纹的电火花加工 ·····	177
4.7.1 可乐瓶螺纹·····	177
4.7.2 电火花加工内螺纹的方法·····	178
4.7.3 瓶口螺纹电火花加工工艺·····	180
4.7.4 瓶口螺纹电火花加工操作·····	180
4.7.5 瓶口螺纹电火花批量加工的工艺技巧·····	181
4.8 注塑模深浇口的电火花加工 ·····	183
4.8.1 注塑模深浇口·····	183
4.8.2 深浇口工件准备·····	183
4.8.3 深浇口加工电极准备·····	183
4.8.4 深浇口电火花加工操作·····	184
4.8.5 深浇口电火花加工规准、加工效果·····	185
4.8.6 深浇口电火花加工要点·····	185
4.9 锥齿轮锻模型腔的电火花加工 ·····	186
4.9.1 锥齿轮锻模·····	186
4.9.2 锥齿轮锻模工件准备·····	187
4.9.3 锥齿轮锻模电极准备·····	187
4.9.4 锥齿轮锻模电火花加工操作·····	188
4.9.5 锥齿轮锻模电火花粗、中、精加工工艺·····	191
4.9.6 锥齿轮锻模电火花加工要点分析·····	191
4.10 动模型芯的电火花加工 ·····	194
4.10.1 动模型芯零件·····	194
4.10.2 极性切换电火花加工工艺分析·····	194
4.10.3 动模型芯零件加工工件、电极的准备·····	195
4.10.4 动模型芯零件加工操作·····	195
4.10.5 动模型芯零件加工规准、加工效果·····	196
4.10.6 动模型芯零件加工要点·····	196
4.11 调节阀零件的电火花加工 ·····	197
4.11.1 调节阀零件·····	197
4.11.2 调节阀零件电火花加工工艺·····	197
4.11.3 调节阀零件电火花加工问题要点分析·····	198

4.11.4 调节阀零件电火花加工的数控程序	199
4.12 特殊材料的电火花加工	201
4.12.1 硬质合金材料的电火花加工	201
4.12.2 铝合金材料的电火花加工	203
4.12.3 铜合金材料的电火花加工	204
4.12.4 钛材料的电火花加工	205
第5章 数控电火花加工应用技术综合探讨	207
5.1 提高电火花加工效率的工艺探讨	208
5.1.1 电火花加工工艺相关的要点	208
5.1.2 电火花加工机床调整的要点	210
5.1.3 电火花加工操作的要点	212
5.1.4 其他	212
5.1.5 总结	213
5.2 电火花加工中放电不稳定现象产生的原因及改善措施	213
5.2.1 电火花加工放电过程机理的概述	213
5.2.2 电火花加工稳定状况的评判及其产生的影响	213
5.2.3 产生放电不稳定现象的原因及改善措施	214
5.2.4 总结	217
5.3 高附加值模具的精密电火花加工技术	217
5.3.1 精密电火花加工的前提	217
5.3.2 精密电火花加工的工艺方法	218
5.3.3 保证精密加工定位精度的方法	218
5.3.4 精密加工对电极的要求	218
5.3.5 精密加工中电规准的控制	219
5.3.6 精密加工中的液处理方式	219
5.3.7 精密加工的补刀加工处理	220
5.3.8 精密加工对加工工艺的要求	220
5.3.9 精密加工对加工环境及使用工具的要求	220
5.3.10 精密加工对技术人员的要求	220
5.3.11 总结	221
5.4 模具企业电火花成形加工误差的分析	221
5.4.1 定位方法的误区	221
5.4.2 电极材料选择的误区	222
5.4.3 电极缩量选取的误区	223
5.4.4 工艺方法的误区	224
5.4.5 总结	225
5.5 模具制造中电火花加工异常问题及分析	225
5.5.1 模具零件加工后加工部位实测尺寸不合格	225
5.5.2 加工部位表面质量不合格	227



5.5.3 加工位置偏差	229
5.5.4 加工中的异常现象	230
5.5.5 人为造成的加工异常现象	231
5.5.6 总结	231
5.6 型腔模镜面电火花加工的探讨	231
5.6.1 电火花加工机床应具有镜面精加工电路	232
5.6.2 运用混粉技术来改善镜面加工效果	232
5.6.3 多电极更换成形工艺及材料余量的控制	232
5.6.4 合理配置镜面加工的电极准	233
5.6.5 运用平动加工方法保证镜面加工的顺利进行	233
5.6.6 对电极和工件的要求	233
5.6.7 镜面加工中的操作技巧	235
5.6.8 加工形状与镜面加工特性	235
5.6.9 总结	235
5.7 电火花与高速铣削加工的发展关系	235
5.7.1 电火花加工的优势及其应用	236
5.7.2 高速铣削加工的优势及其应用	236
5.7.3 电火花与高速铣削加工的和谐发展	237
5.8 有自动更换电极功能的数控电火花成形机的自动化工艺	237
5.8.1 标准自动化工艺	237
5.8.2 电极偏心补偿自动化工艺	239
5.8.3 总结	241
5.9 数控电火花加工技术的发展及新工艺的应用	242
5.9.1 数控电火花加工技术的发展	242
5.9.2 数控电火花加工的操作过程	244
5.9.3 数控电火花加工新工艺的应用	244
5.9.4 数控电火花加工技术的发展趋势	245
附录	247
附录 A 典型数控电火花成形加工机床介绍	247
A.1 三菱数控电火花成形加工机床	247
A.2 北京阿奇夏米尔数控电火花成形加工机床	248
附录 B 数控电火花加工技术工人职业技能鉴定（中级）模拟试题	251
附录 C 数控电火花加工技术工人职业技能鉴定（中级）模拟试题部分参考答案	265
参考文献	269

第1章

数控电火花加工技术基础

内容导航:

- 电火花加工的产生、物理本质及实现条件
- 电火花加工的两个重要效应
- 电火花加工的特点及应用
- 电火花加工的主要工艺指标及其影响因素
- 数控电火花加工的工艺方法
- 模具企业数控电火花加工的工艺流程
- 先进的数控电火花加工机床

1.1 电火花加工的产生、物理本质及实现条件

1.1.1 电火花加工的产生

在日常生活中,当电器开关每次开、合时,往往出现伴随着噼啪响声的蓝白色火花,使得开关的接触恶化。20 世纪 40 年代,前苏联科学院士拉扎连柯夫妇率先对这种现象进行深入研究,导致产生了一种新的金属去除方法——电火花加工。

电火花加工是在加工过程中,使电极和工件之间不断产生脉冲性的火花放电;火花放电时,放电通道中瞬时产生大量的热,达到的高温足以使金属材料局部熔化,甚至汽化而被蚀除。

电火花加工技术的产生与发展,对机械制造工艺技术产生了重大影响,改变了人们对材料可加工性的认识,对零件的结构设计带来重大变革。

1.1.2 电火花加工的物理本质

图 1-1 所示为电火花加工示意图。在工作液中使电极与工件对好,通过主轴伺服系统保持一定的极间距离,脉冲电源恰好像开关的开、闭一样,在电极与工件之间施加和切断电压。每次加电压时,在极间产生火花放电,工件表层形成放电凹坑,材料被逐渐除去。在这样反复的火花放电作用后,极间距离增大;伺服装置为保持一定的极间距离,使电极下降,反复作用之后,工件被加工成与电极相对应的形状。

为了深入掌握电火花加工工艺,正确理解电火花加工过程中的各种现象,寻求更完善的工艺方法,就必须掌握其物理本质。

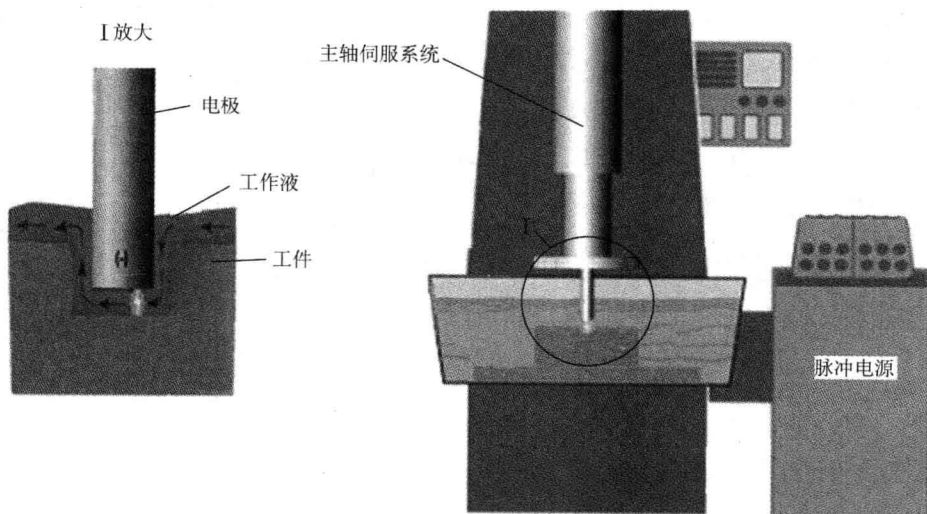


图 1-1 电火花加工示意图

1. 电火花加工的物理本质简述

一个物体无论从宏观上看来是多么平整，但在微观上其表面总是凹凸不平的，即由无数的高峰与凹谷组成。当处在工作介质中的工件与电极加上电压，两极间立即建立起一个电场，电场强度是很不均匀的。电场强度取决于极间电压和极间距离。两极间距越小，电场强度越大；极间电压越大，电场强度越大。故先在极间最近点处击穿介质，形成放电通道，释放出大量能量，工件表面被电蚀出一个坑来，如图 1-2a 所示。工件表面的最高峰变成凹谷，另一处电场强度变成最大。在脉冲能量的作用下，该处又被电蚀出坑来。这样以很高频率连续不断地重复放电，电极不断地向工件进给，就可将工具的形状复制在工件上，加工出需要的零件来，如图 1-2b 所示。

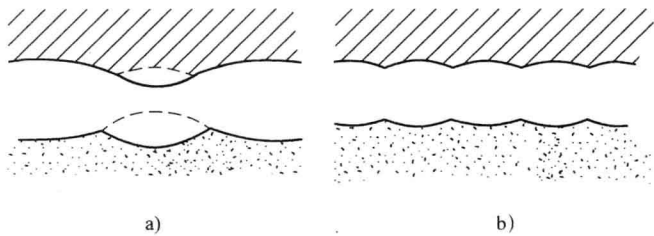


图 1-2 电蚀过程

a) 极间最近点的单次放电 b) 多次放电形成的加工表面

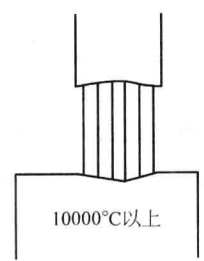
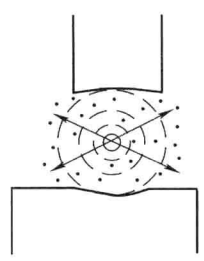
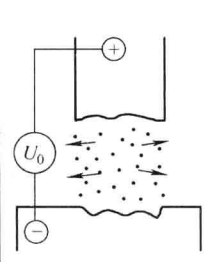
2. 单个脉冲放电过程

在液体介质小间隙中进行单个脉冲放电时，大致可分成介质击穿和通道形成（表 1-1 的序号 1、2 图）；能量转换和传递（表 1-1 的序号 3 图）；电蚀产物抛出（表 1-1 的序号 4、5 图）三个连续的过程。

表 1-1 单个脉冲放电的过程

序号	示意图	解 释
1		处在绝缘的工作液介质中的两电极，在两极加上无负荷直流电压 U_0 后，伺服轴电极向下运动，极间距离逐渐缩小
2		当极间距离 G 小到一定程度时，在电场作用下，阴极逸出的电子高速向阳极运动，并在运动中撞击介质中的中性分子和原子，产生碰撞电离，形成带负电的粒子（主要是电子）和带正电的粒子（主要是正离子）。当电子到达阳极时，介质被击穿，形成放电通道

(续)

序号	示意图	解 释
3		两极间的介质一旦被击穿，电源便通过放电通道释放能量，大部分能量转换成热能。这里通道中的电流密度高达 $10^4 \sim 10^9 \text{ A/cm}^2$ ，放电点附近的温度高达 10000°C 以上，使两极间放电点局部熔化或汽化
4		在热爆炸力、电力、流体动力等综合因素的作用下，被熔化或汽化的材料被抛出，产生一个小坑
5		脉冲放电结束，两极间介质恢复绝缘。当第二个脉冲作用到电极和工件上，又会在极间距离相对最近或绝缘强度最弱点击穿放电，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

实际上，电火花加工的过程远比上述复杂，它是电力、磁力、热力、流体动力、电化作用等综合作用的过程。由于电火花加工过程本身的复杂性，迄今为止人们对电火花加工的本质尚未完全弄清楚，还需要进一步研究。

1.1.3 实现电火花加工的条件

实现电火花加工应具备如下条件：

- 1) 电极和工件之间必须加以 $60 \sim 300\text{V}$ 的脉冲电压，同时还需维持合理的距离——放电间隙。大于放电间隙，介质不能被击穿，无法形成火花放电；小于放电间隙，会导致积炭，甚至发生电弧放电，无法继续加工。
- 2) 火花放电必须在有较高绝缘强度的液体介质中进行，这样既有利于产生脉冲性的放电，又能使加工过程中的产物从两极间隙中悬浮排出，同时还能冷却电极和工件表面。
- 3) 输送到两极间脉冲能量应足够大，即放电通道要有很大的电流密度（一般为 $10^4 \sim 10^9 \text{ A/cm}^2$ ）。
- 4) 放电必须是短时间的脉冲放电，一般为 $1 \mu\text{s} \sim 1\text{ms}$ 。这样才能使放电产生的热量来不及扩散，从而把能量作用局限在很小的范围内，保持火花放电的冷极特性。脉冲放电需要

多次进行，并且多次脉冲放电在时间上和空间上是分散的，避免发生局部烧伤。

5) 脉冲放电后的电蚀产物能及时排放至放电间隙之外，使重复性放电顺利进行。

1.2 电火花加工的两个重要效应

1.2.1 极性效应

电火花加工时，两极的材料被腐蚀量是不相同的，这种现象叫做极性效应。如果两极材料相同，被腐蚀量也是不相同的；如果两极材料不同，则极性效应就更加复杂。

在生产中，通常将电极接脉冲电源正极、工件接脉冲电源负极的加工称为“正极性加工”（图 1-3），反之称为负极性加工。

注意：我国电加工学会将电极接脉冲电源正极、工件接脉冲电源负极的加工称为“负极性加工”，而实际生产中的数控电火花加工机床关于极性的定义与之刚好相反。本书遵循实际生产的定义方法。

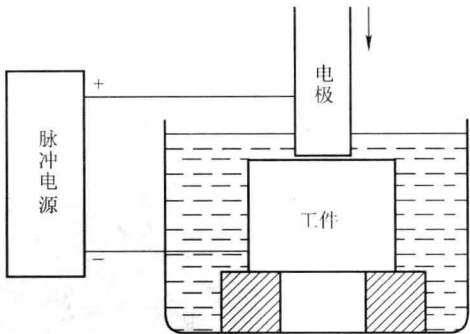


图 1-3 通常加工用的“正极性加工”接线法

在实际加工中，极性效应受到电参数、单个脉冲能量、电极材料、加工介质、电源种类等多种因素的影响。下面主要介绍电参数脉冲宽度、脉冲能量对极性效应的影响。

1. 脉冲宽度

在电场作用下，通道中的电子奔向阳极，正离子奔向阴极。由于电子质量轻，惯性小，在短时间内容易获得较高的运动速度；而正离子质量大，不易加速，故在窄脉冲宽度时，电子动能大，电子传递给阳极的能量大于正离子传递给负极的能量，使阳极（+）的蚀除量大于阴极（-）的蚀除量。在实际加工中，为了降低电极的损耗，这时应采用负极性加工。

在大脉冲宽度时，正离子有足够的时间加速，从而可获得较高的速度，而且质量又大，轰击阴极的动能较大。因此，正离子传递给阴极的能量超过了电子传递给阳极的能量，阴极（-）的蚀除量便大于阳极（+）的蚀除量。在实际加工中，为了降低电极的损耗，这时应采用正极性加工。

表 1-2 列出脉冲宽度与极性效应的关系。

表 1-2 脉宽与极性效应的关系

两极	该极产生的粒子	粒子的特性	窄脉冲宽度的效应	大脉冲宽度的效应
正极 (+)	正离子	正离子质量大，惯性大，在短时间内容易获得较高的运动速度	只有一小部分能够到达负极表面，而大量的正离子不能到达	正离子有足够的时间到达负极表面，对负极表面的轰击破坏作用非常强
负极 (-)	电子	电子质量轻，惯性小，在短时间内容易获得较高的运动速度	大量的电子奔向正极，并轰击正极表面，使正极表面迅速熔化和汽化	电子虽有足够的时间到达正极表面，但对正极表面的轰击破坏作用并不强

2. 脉冲能量

随着放电能量的增加,尤其是极间放电电压的增加,每个正离子传递给阴极的平均动能增加;电子的动能虽然也随之增加,但当放电通道很大时,由于电位分布变化引起阳极区电压降低,阻止了电子奔向阳极,减少了电子传递给阳极的能量,使阴极能量大于阳极能量,即脉冲能量大时,阴极的蚀除量大于阳极的蚀除量。

在电火花加工过程中,必须充分利用极性效应,合理选择加工极性,以提高加工速度和减少电极损耗。

1.2.2 覆盖效应

在电火花加工过程中,电蚀产物在两极表面转移,形成一定厚度的覆盖层,这种现象叫覆盖效应。

如图1-4所示,电极在加工后,其加工部位产生一层黑色的覆盖层。在油类介质中加工时,覆盖层主要是石墨化的碳素层,其次是粘附在电极表面的金属微粒结层。

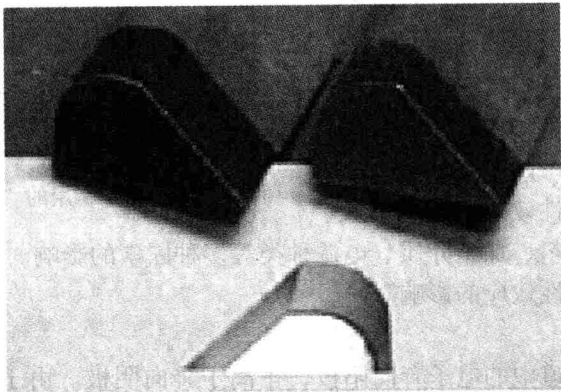


图1-4 覆盖效应

1. 碳素层的生成条件

- 1) 要有足够高的温度。电极上待覆盖的表面温度不低于碳素层的生成温度,但低于熔点,以使碳粒子烧结成石墨化的耐蚀层。
- 2) 要有足够多的电蚀产物,尤其是介质的热解产物——碳粒子。
- 3) 要有足够的时间,以便在表面上形成一定厚度的碳素层。
- 4) 采用正极性加工,因为碳素层易在阳极表面生成。
- 5) 必须在油类介质中加工。

2. 影响覆盖效应的主要因素

(1) 脉冲能量与波形的影响 增大放电加工能量有助于覆盖层的生长,但宽脉冲、大电流对中、精加工有相当大的局限性。减小脉冲间隔则有利于在各种规准下生成覆盖层,但间隔过小,则有转变为电弧放电的危险。采用某些组合脉冲,如矩形波派生出来的梳形波及各种叠加脉冲波形,也有助于覆盖层的生成。

(2) 材料组合的影响 铜电极加工钢时覆盖效应比较明显,但铜电极加工硬质合金却不容易生成覆盖层。

(3) 工作介质的影响 油类工作液在放电产生的高温作用下,生成大量的碳粒子,有