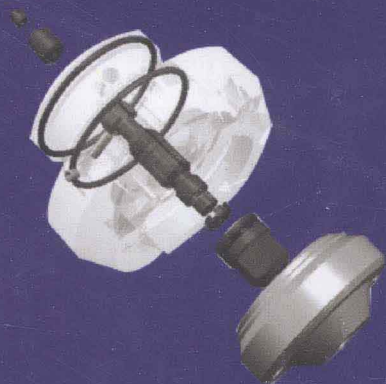




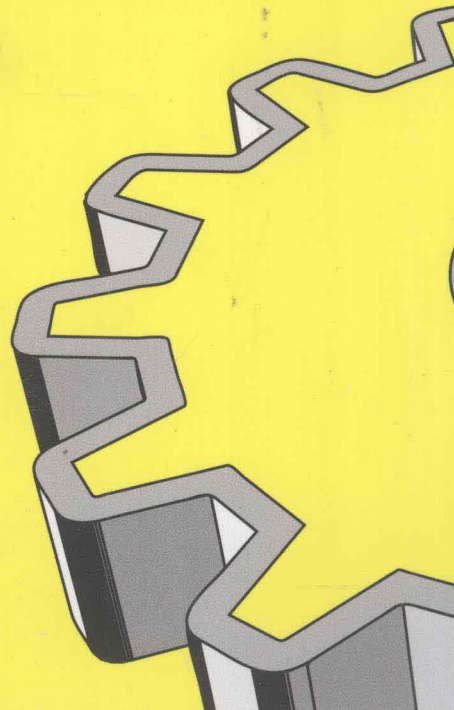
高职高专“十二五”规划教材

电加工 技术应用



朱根元 等编著

DIANJIAGONG
JISHU YINGYONG



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

电加工技术应用

朱根元 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要讲授慢走丝线切割编程技术、慢走丝线切割机床的操作、电火花成型加工技术及电火花成型加工机床的操作。主要内容包括：电加工基本理论、Twincad/WTCAM™ 编程软件应用、慢走丝线切割机床操作、电火花成型加工参数确定及机床操作。电火花机床以 FORM 20 为教学机床，慢走丝线切割以夏米尔 FI240SLP 为教学机床。

本书可以作为高职高专在校生的电加工技术应用类课程教材，也可作为具有一定专业知识的机械加工技术人员或相关培训机构的培训教材或参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

电加工技术应用 / 朱根元等编著. —北京：化学工业出版社，2013.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17681-3

I. ①电… II. ①朱… III. ①电火花加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 137558 号

责任编辑：韩庆利

装帧设计：孙远博

责任校对：王素芹

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：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 304 千字 2013 年 9 月北京第 1 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：25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着机械加工业及模具工业的快速发展,电加工在其中已扮演越来越重要的角色,特别是近年来的慢走丝线切割加工设备的越来越普及,为这个行业注入了新的活力,电加工设备已成为模具加工业的必备装备。想要成为一名合格的电火花成型加工和慢走丝线切割加工的工程技术人员,必须在工作中积累相当的经验。本书的编写目的是能为立志于从事电加工的人员提供一本参考材料,使他们能尽早成为一名合格技术人员。

本书主要讲授电火花成型加工及慢走丝线切割加工的原理及机床的操作以及慢走丝线切割编程技术。电火花机床以 FORM 20 为教学机床;线切割以 240SLP 为教学机床。编程软件以统达公司的 Twincad/WTCAMTM 的 V3.2.008 版本为蓝本。

FORM 20 电火花成型加工机床和 FI240SLP 电火花线切割加工机床都是瑞士夏米尔公司生产的精密电加工产品,在整个工模具制造业的供应系统中处于领导先锋的地位。鉴于其在我国一些合资或独资企业中有一定的普及率,在教学设备选型时,我们充分考虑了这一点。而编程软件则以中国台湾统达电脑股份有限公司的 Twincad/WTCAMTM 的 V3.2.008 版本为教学软件,此版本是该软件的最新版本,选用这款软件不仅是由于其与 AutoCAD 有相当的亲和力,使用者对操作界面有似曾相识的感觉,易学易用,而且是因为这款软件在我国已相当普及,在慢走丝线切割行业中知名度较高,但市场上出版的相应资料却很少。本书的出版也许能填补这个空缺。

本书可以作为高职高专在校生的电加工课程教材,也可作为具有中专以上文化程度的机械技术人员或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。

本书第 1~7 章由苏州工业园区职业技术学院朱根元编写,第 8~12 章由苏州工业园区职业技术学院於星编写。本书在编写过程中得到了统达电脑(昆山)有限公司钱思平主任(高级工程师)及阿奇夏米尔机电(上海)有限公司苏州办事处的冯国新、曹兵锋主任的鼎力协助,在此表示感谢!

本书有配套电子课件,可免费赠送给用书院校和老师,如有需要可发邮件到 hqlbook@126.com 索取。

由于水平有限,书中不足之处恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 慢走丝线切割加工

第 1 章 电火花加工原理	2	3.2.5 存设定与读设定	58
1.1 电火花技术介绍	2	3.2.6 资料库	59
1.1.1 电火花加工的基本原理	2	第 4 章 加工案例编程	69
1.1.2 脉冲放电过程	3	4.1 加工案例编程一	69
1.1.3 极性效应	5	4.2 加工案例编程二	74
1.2 电火花加工工艺中的基本规律	5	4.3 加工案例编程三	78
1.2.1 影响材料放电腐蚀量的主要因素	5	4.4 加工案例编程四	84
1.2.2 加工速度和工具电极的损耗速度	6	第 5 章 机床操作文件	91
1.2.3 影响电火花加工精度的主要因素	6	5.1 机床操作文件	91
1.3 电火花加工的特点、适用范围、缺点 及分类	7	5.2 工件程序	91
1.3.1 电火花加工的特点、适用范围	7	5.2.1 G 代码	92
1.3.2 电火花加工的缺点	7	5.2.2 部分 G 代码的功能说明	92
1.3.3 电火花加工工艺方法分类	8	5.2.3 常用的 M 代码	94
第 2 章 电火花线切割加工	10	5.2.4 工件程序格式	94
2.1 线切割加工原理	10	5.3 指令字	95
2.2 线切割加工的分类	11	5.4 工艺文件	97
2.3 线切割加工的应用范围	12	5.4.1 工艺文件的产生	97
2.4 线切割加工的一般步骤	13	5.4.2 工艺文件的内容	97
第 3 章 编程软件应用	15	5.4.3 标准工艺文件的命名方式	99
3.1 软件功能介绍	15	5.5 丝表文件	100
3.1.1 系统规划	15	5.5.1 丝表文件的命名方式	100
3.1.2 基本绘图指令	23	5.5.2 丝表文件的选用	100
3.1.3 基本编辑指令	26	第 6 章 机床操作过程	102
3.1.4 刀具路径前处理参数设定	27	6.1 操作界面	102
3.1.5 刀具路径后处理参数设定	29	6.2 准备模式界面	103
3.1.6 起割点、切入边、切割方向 的设定	35	6.3 执行模式界面	107
3.2 各类切割方式参数设定	37	6.4 信息模式界面	109
3.2.1 模孔切割参数设置	37	6.5 图形模式界面	110
3.2.2 凸模切割参数设置	47	6.6 操作页面	110
3.2.3 镶件切割参数设置	50	6.7 加工步骤	112
3.2.4 其他类型切割	53	6.7.1 穿丝孔的制作	112
		6.7.2 装夹工件	112
		6.7.3 电极丝安装	112

6.7.4 导向器校正	112
6.7.5 新建目录	114
6.7.6 文件拷贝	114
6.7.7 查看及修改程序	115
6.7.8 CT-专家系统(工艺选择)	115
6.7.9 移动坐标轴	116
6.7.10 机头定位	116
6.7.11 穿丝	120
6.7.12 切割	124
6.7.13 加工监控	124
6.7.14 参数优化	126
6.7.15 加工中断处理	127
6.7.16 结束加工作业	127

第7章 机床维护	129
7.1 日常维护	129
7.1.1 上机头的维护	129
7.1.2 下机头的维护	134
7.2 定期保养维护	139
7.2.1 每日保养	139
7.2.2 每周保养	139
7.2.3 每月保养	139
7.2.4 半年保养	139
7.2.5 工作台、机头、导轨维护保养	140
7.2.6 工作液的维护	140
7.2.7 电气柜的维护	140

第2篇 电火花成型加工

第8章 FORM 20 电火花机床	144
8.1 电火花加工机床的结构	144
8.2 电火花加工的安全技术规程	145
8.3 Form20 电火花机床的维护保养	146
8.4 劳动保护及安全措施	147
8.4.1 工作液	147
8.4.2 防火	148
8.4.3 触电危险	148

第9章 工艺参数设定	150
9.1 操作面板	150
9.2 脉冲电源设定	150
9.2.1 伺服控制	150
9.2.2 工作模式(M)	151
9.2.3 电极极性(S)	152
9.2.4 峰值电流(P)	152
9.2.5 脉宽(A)	153
9.2.6 停歇(B)	153
9.2.7 抬刀(R)与加工时间(U)	154
9.2.8 保护系统参数选择%F、%TL、 %TR	154
9.2.9 选择放电加工键	155
9.2.10 加工状态	155
9.2.11 异常信号	156

第10章 工作液冲洗方式	159
10.1 冲洗	159

10.1.1 混合冲洗(抬刀)	159
10.1.2 冲油	159
10.1.3 抽油	160
10.1.4 侧冲	161
10.1.5 组合冲洗	161
10.1.6 冲洗压力调整	161
10.2 工作液系统的操作	161
10.2.1 工作液系统的启动	161
10.2.2 工作液系统的停止	162
第11章 机床操作过程	164
11.1 开机	164
11.2 电极的安装和校正	164
11.3 工件的装夹与校正	166
11.4 工件与电极位置找正	166
11.4.1 手动方式	166
11.4.2 端面找正	167
11.4.3 侧面找正	167
11.5 上油及液面调节	168
11.5.1 上油	168
11.5.2 放油	169
11.6 数显表参数设定	169
11.6.1 HEIDENHAIN 数显表的介绍	169
11.6.2 数显仪开机	169
11.6.3 设定基准点	170
11.6.4 定中心	170

11.6.5 设置加工深度	171	12.1.7 总放电加工面积 (S_t)	177
11.6.6 校正键 ΔZ	171	12.1.8 电极的数量	178
11.6.7 HOME 键	171	12.1.9 工艺图表	179
11.6.8 显示 Z 轴 (加工轴) 最低位置	172	12.1.10 加工规准	179
11.6.9 探测首发放电	172	12.1.11 加工间隙值和电极收缩量	180
11.7 加工启动	172	12.1.12 确定电极尺寸	180
第 12 章 应用及工艺	175	12.1.13 电极损耗	181
12.1 工艺规准确定	175	12.2 加工实例	182
12.1.1 工艺图表用专业术语	175	附录	187
12.1.2 加工间隙	175	附录 1 指令字功能 (部分)	187
12.1.3 表面粗糙度 (CH/Ra)	175	附录 2 G 代码功能	188
12.1.4 最大电流密度	176	附录 3 M 功能	189
12.1.5 端面积 (S_f)	177	参考文献	190
12.1.6 最大加工规准 (CH_e)	177		

第 1 篇

慢走丝线切割加工

第 1 章 电火花加工原理

第 2 章 电火花线切割加工

第 3 章 编程软件应用

第 4 章 加工案例编程

第 5 章 机床操作文件

第 6 章 机床操作过程

第 7 章 机床维护

第 1 章 电火花加工原理

主要内容:

- 电火花加工技术介绍。
- 电火花加工工艺中的基本规律。
- 电火花加工的特点。

本章主要介绍电火花加工的基本知识,让初学者对电火花加工有一个初步的了解。掌握电火花加工的基本规律和加工特点。

1.1 电火花技术介绍

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,工具的硬度不必大于工件硬度,工具和工件也并不接触,而是靠工具和工件之间不断地脉冲性火花放电,产生局部、瞬时的高温把金属材料逐步蚀除掉。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。电火花加工在机械加工业获得愈来愈多的应用,特别是模具加工业,它已成为切削加工的重要补充和发展。

1.1.1 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、形状及表面质量等预定的加工要求。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。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、气化而被蚀除掉,形成放电凹坑。在 1943 年,拉扎连柯夫妇终于研制出利用电容器反复充电放电原理的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,以后在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通过伺服装置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,应停歇一段时间。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（电阻率为 $10^3 \sim 10^7 \Omega \text{cm}$ ），以有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 1 与工具电极 4 分别与脉冲电源 2 的两输出端相连接。自动进给调节装置 3（此处为电动机及丝杆、螺母、导轨）使工具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低处击穿介质，在该局部产生火花放电，瞬时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。其中图 1-2 中 (a) 表示单个脉冲放电后的电蚀坑；图 1-2 中 (b) 表示多次脉冲放电后的电蚀坑。

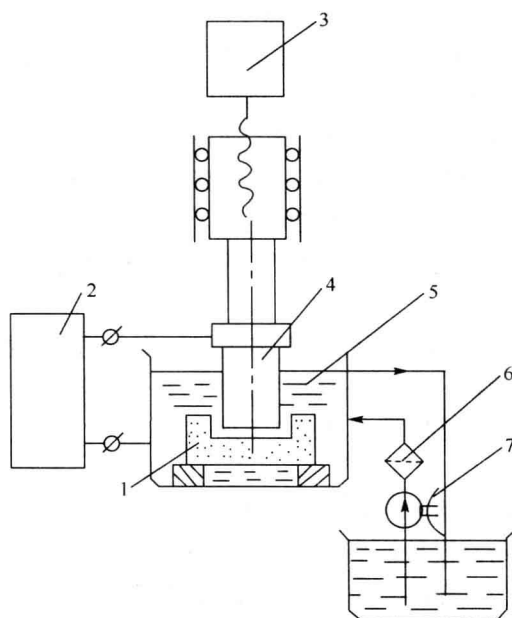


图 1-1 电火花加工系统

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—液压马达

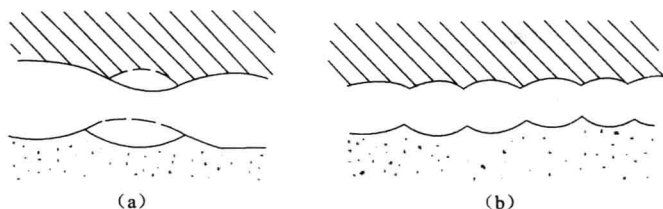


图 1-2 脉冲放电后的电蚀坑

1.1.2 脉冲放电过程

一次脉冲放电的过程可以分为电离、放电、热膨胀、抛出金属和消电离等几个连续的阶段。

1. 电离

由于工件和电极表面存在着微观的凹凸不平。在两者相距最近的点上电场强度最大，会使附近的液体介质首先被电离为电子和正离子。

2. 放电

在电场的作用下，电子高速奔向阳极，正离子奔向阴极，并产生火花放电，形成放电通道。在这个过程中，两极间液体介质的电阻从绝缘状态的几兆欧姆骤降到几分之一欧姆。由于放电通道受放电时磁场力和周围液体介质的压缩，其截面积积极小，电流强度可达 $10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ (放电状况如图 1-3 所示)。

3. 热膨胀

由于放电通道中电子和离子高速运动时相互碰撞，产生大量的热能。阳极和阴极表面受高速电子和离子流的撞击，其动能也转化成热能，因此在两极之间沿通道形成了一个温度高达 $10000 \sim 12000^\circ\text{C}$ 的瞬时高温热源。在热源作用区的电极和工件表面层金属会很快熔化，甚至气化。通道周围的液体介质（一般为煤油）除一部分气化外，另一部分被高温分解为游离的炭黑和 H_2 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_nH_{2n} 等气体（使工作液变黑，在极间冒出小气泡）。上述过程是在极短时间 ($10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ s}$) 内完成的，因此，具有突然膨胀、爆炸的特性（可以听到噼啪声）。如图 1-4 所示。

4. 抛出金属

由于热膨胀具有爆炸的特性，爆炸力将熔化和气化了了的金属抛入附近的液体介质中冷却，凝固成细小的圆球状颗粒，其直径视脉冲能量而异（一般约为 $0.1 \sim 500 \mu\text{m}$ ），电极表面则形成一个周围凸起的微小圆形凹坑，如图 1-5 所示。

5. 消电离

使放电区的带电粒子复合为中性粒子的过程。在一次脉冲放电后应有一段间隔时间，使间隙内的介质来得及消电离而恢复绝缘强度，以实现下一次脉冲击穿放电。如果电蚀产物和气泡来不及很快排除，就会改变间隙内介质的成分和绝缘强度，破坏消电离过程，易使脉冲放电转变为连续电弧放电，影响加工。

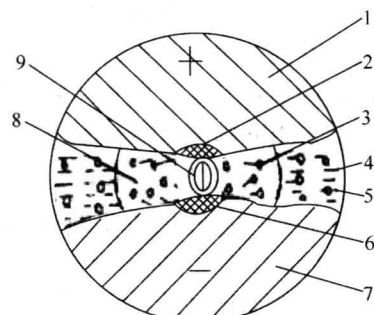


图 1-3 脉冲放电过程

- 1—阳极；2—阳极气化熔化区；
- 3—熔化的金属微粒；
- 4—工作介质；5—凝固的金属微粒；
- 6—阴极气化熔化区；7—阴极；
- 8—气泡；9—放电通道



图 1-4 金属热膨胀

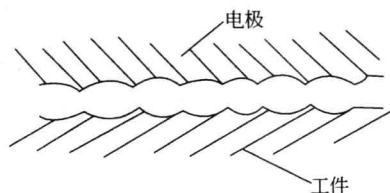


图 1-5 电极、工件表面的凹坑

一次脉冲放电之后，两极间的电压急剧下降到接近于零，间隙中的电介质立即恢复到绝缘状态。此后，两极间的电压再次升高。又在另一处绝缘强度最小的地方重复上述放电过程。多次脉冲放电的结果，使整个被加工表面由无数小的放电凹坑构成，如图 1-5 所示，工具电极的轮廓形状便被复制在工件上，达到加工的目的。

1.1.3 极性效应

在脉冲放电过程中, 工件和电极都要受到电腐蚀。但正、负两极的蚀除速度不同, 这种两极蚀除速度不同的现象称为极性效应。产生极性效应的基本原因是由于电子的质量小, 其惯性也小, 在电场力作用下容易在短时间内获得较大的运动速度, 即使采用较短的脉冲进行加工也能大量、迅速地到达阳极, 轰击阳极表面。而正离子由于质量大, 惯性也大, 在相同时间内所获得的速度远小于电子。当采用短脉冲进行加工时, 大部分正离子尚未到达负极表面, 脉冲便已结束, 所以负极的蚀除量小于正极。但是, 当用较长的脉冲加工时, 正离子可以有足够的时间加速, 获得较大的运动速度, 并有足够的时间到达负极表面, 加上它的质量大, 因而正离子对负极的轰击作用远大于电子对正极的轰击, 负极的蚀除量则大于正极。

电极和工件的蚀除量不仅与脉冲宽度有关, 而且还受电极及工件材料、加工介质、电源种类、单个脉冲能量等多种因素的综合影响。在电火花加工过程中, 极性效应愈显著愈好。因此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, 减少电极的损耗。在实际生产中把工件接正极的加工, 称为“正极性加工”或“正极性接法”。工件接负极的加工称为“负极性加工”或“负极性接法”。极性的选择主要靠实验确定。

1.2 电火花加工工艺中的基本规律

在电火花加工中, 主要关心的加工工艺参数有: 放电腐蚀量、工件的加工速度、工具电极的损耗速度、电火花加工精度以及工件的表面质量。

1.2.1 影响材料放电腐蚀量的主要因素

电火花加工过程中, 材料被放电腐蚀的规律是十分复杂的综合性问题, 研究影响材料放电腐蚀量的因素, 对于应用电火花加工方法、提高电火花的生产率、降低工具电极的损耗是极为重要的。

1. 极性效应的影响

在脉冲放电过程中, 工件和电极都要受到电腐蚀。但正、负两极的蚀除速度不一致, 特别是正极易吸附炭黑这一特性, 在实际生产中要充分利用这一点, 一般将电极作为正极, 正极吸附炭黑保护膜, 起到保护作用, 以降低电极的损耗。这种正极吸附炭黑保护膜的效应称为吸附效应。

2. 电参数对电蚀量的影响

研究表明, 提高电蚀量和生产率的途径在于: 提高脉冲频率、增加单个脉冲能量(提高单个脉冲平均放电电流和脉冲宽度)、减小脉冲间隔。

其他考虑因素: 脉冲间隔时间不能过短, 否则易产生电弧放电; 单个脉冲能量增加, 加工表面粗糙度也随之增加。

3. 金属材料热学物理常数对电蚀量的影响

所谓热学常数指: 熔点、比热容、融化热、汽化热、热导率等。这些常数对电蚀量、加工难度的影响很大, 具体表现在以下几个方面:

(1) 熔点、比热容、融化热、汽化热愈高, 则电蚀量愈小, 加工难度愈大。

(2) 热导率愈大, 则电蚀量愈小, 加工难度愈大。

(3) 金属材料放电加工的难易程度依次为: 钨、铜、银、钼、铝、钽、铂、铁、镍、不

锈钢、钛。在考虑使用何种材料制作电极时,既要考虑电极材料放电加工的难易程度,又要考虑材料的成本及强度等因素。常用的电极材料是铜和钼。

4. 工作液对电蚀量的影响

工作液在放电加工过程中有如下的作用:

- (1) 形成电火花放电通道,并在放电结束后迅速恢复间隙的绝缘状态;
- (2) 对放电通道产生压缩作用;
- (3) 帮助电蚀产物的抛出和排除;
- (4) 对工具、工件有冷却作用。

5. 其他因素对电蚀量的影响

在放电加工过程中,还存在其他一些因素对放电电蚀除量的影响,具体表现在:

- (1) 加工过程的放电稳定性:平稳的火花放电对提高电蚀量有很大的帮助。
- (2) 加工面积:在一定的电参数下,适当的加工面积有利于提高加工速度。
- (3) 电极材料:不同的电极材料在加工中会得到不同的加工速度。

1.2.2 加工速度和工具电极的损耗速度

把单位时间内工件的电蚀量称为工件的加工速度。把单位时间内工具的电蚀量称为工具的损耗速度。

(1) 工件的加工速度,用体积加工速度 $V_w=V/T(\text{mm}^3/\text{min})$ 来表示;或质量加工速度 $V_M(\text{g}/\text{min})$ 来表示。不同的加工阶段的常见的工件加工速度如下:

- ① 粗加工($Ra=10\sim 20\mu\text{m}$): $200\sim 100\text{ mm}^3/\text{min}$
- ② 半精加工($Ra=2.5\sim 10\mu\text{m}$): $20\sim 100\text{ mm}^3/\text{min}$
- ③ 精加工($Ra=0.32\sim 2.5\mu\text{m}$): $<10\text{ mm}^3/\text{min}$

(2) 工具电极的损耗速度及相对损耗比,工具损耗速度用 V_E 表示。

损耗比 $\theta=V_E/V_w\times 100\%$

(3) 具电极的损耗的影响因素。

在实际加工过程中,常常会利用加工中的一些特性来降低工具电极的损耗,经常考虑的因素如下:

① 极性效应:极性效应对材料的蚀除量影响很大。不同的加工规准及脉冲放电时间会得到不同的结果。

② 吸附效应:是指放电过程中,电极表面会吸附一些极性相反的杂质,如炭灰等,这些杂质会减小工具电极的损耗。在利用铜电极加工钢时,当采用负极性加工时,电极表面会吸附炭灰。

③ 传热效应:工具电极的传热效应越好,损耗就越小。

1.2.3 影响电火花加工精度的主要因素

影响电火花加工精度的因素很多,概括起来主要有以下几种:

1. 机械因素

- (1) 机床本身精度:机床坐标轴移动精度、床身刚度、机床振动等因素都会影响加工精度。
- (2) 工件、工具的定位精度:加工前对工件及工具的定位检测是非常重要的;另外,采用专用夹具可提高定位精度。

2. 与电火花有关的因素

- (1) 放电间隙的大小及其一致性;

- (2) 工具电极的损耗及其稳定性;
- (3) 蚀除产物污染放电通道, 形成二次放电, 易造成工件的加工斜度及尖角变圆现象。

1.3 电火花加工的特点、适用范围、缺点及分类

1.3.1 电火花加工的特点、适用范围

1. 适合于难切削导电材料的加工

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(气化点)、导热系数、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, 因此可以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。采用了数控技术, 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。

由于电火花加工具有许多传统切削加工所无法比拟的优点, 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、电器、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。

1.3.2 电火花加工的缺点

电火花加工也有其一定的局限性, 具体是:

(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、磨削加工。

(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可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%左右。

(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0.02~0.3 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、二轴数控摇动加工,可以清棱清角地加工出方孔、窄槽的侧壁和底面。

1.3.3 电火花加工工艺方法分类

根据电火花加工过程中工具电极与工件相对运动方式和主要加工用途的不同,电火花加工工艺大致分为:电火花成型加工、电火花线切割加工、电火花磨削加工、电火花高速小孔加工、电火花表面加工和电火花复合加工六大类,如图 1-6 所示。其中应用十分普遍的是电火花成型加工及电火花线切割加工,占电火花加工生产的 90%左右。电火花线切割加工又可分为慢走丝线切割加工和快走丝线切割加工。本书主要讲述慢走丝线切割加工和电火花成型加工。

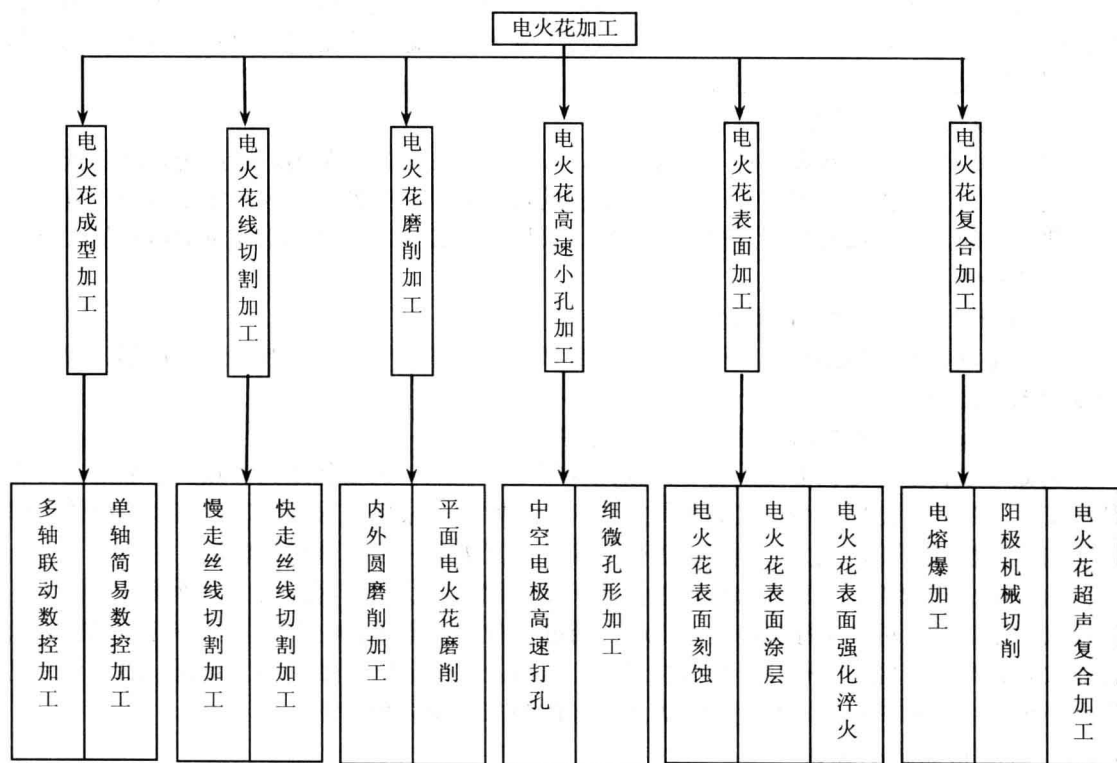


图 1-6 电火花加工分类

复习思考题

- 1.1 什么是电火花加工?
- 1.2 简述一次脉冲放电过程。
- 1.3 什么叫极性效应?
- 1.4 电火花加工中主要关注的工艺指标有哪些?
- 1.5 简述二次放电产生的原因及结果,怎样合理利用或避免此结果?
- 1.6 简述提高工件加工速度的主要途径。
- 1.7 简述影响工具电极损耗速度的因素。
- 1.8 简述影响电火花加工精度的主要因素。
- 1.9 简述电火花加工的特点和适用范围。

 读书笔记

第2章 电火花线切割加工

主要内容:

- 线切割原理。
- 线切割加工特点。

本章主要介绍线切割原理，加工特点，为了解机床、操作机床作好准备。

2.1 线切割加工原理

用连续移动的金属丝（电极丝）作电极，利用线电极与工件在液体介质中产生火花放电而腐蚀工件（将金属融化或汽化，并将融化或汽化的金属去除掉），同时工件和线电极按程序预定的要求运动，这样便能将一定形状的工件切割出来，这种加工方法叫电火花线切割加工。英文名称为 WEDM（Wire-Cut Electrical Discharge Machining）。线切割加工根据加工特点通常分为快走丝和慢走丝线切割加工。

切割时若电极丝接脉冲电源负极，则工件接脉冲电源正极。当来一个脉冲时，在电极和工件之间的介质被电离击穿，产生一次火花放电，在放电通道的中心温度瞬时可达 $8000\sim 12000^{\circ}\text{C}$ ，高温使工件金属熔化，甚至有少量汽化，高温同样也使电极与工件之间的工作液部分产生汽化，这些汽化了的工作液和金属蒸气瞬间迅速热膨胀，并具有爆炸的特性。爆炸力把熔化的金属以及金属蒸气、工作液蒸气抛进工作液中冷却。当它们凝固成固体时，由于表面张力和内聚力的作用，均凝聚成具有最小表面积的细椭圆形颗粒。而电极丝和工件表面则形成一个四周稍有凸缘的微小椭圆形凹坑。这一过程大致分为以下几个阶段：电离击穿、脉冲放电、金属熔化和汽化、汽泡扩展、金属抛出及消电离恢复绝缘强度。

根据实验，电极丝与工件相距 $8\sim 10\mu\text{m}$ 时，介质无击穿现象；当电极丝压过工件 $0.04\sim 0.07\mu\text{m}$ 时，单脉冲的放电率接近 98%；当电极丝压过工件 0.1mm 时，则电极丝与工件之间发生短路，不能形成放电通道。为了保证火花放电时电极丝不被烧断，必须向放电间隙注入大量的工作液，以使工件和电极丝得到冷却，同时将微小的颗粒冲走。快走丝机床常用乳化液作为介质，而慢走丝机床常采用去离子水作为介质，这些介质具有一定的绝缘性，又有一定的导电率，有利于工件与电极丝之间产生火花放电而不是电弧放电。

数控线切割加工时，数控装置要不断进行插补运算，并向驱动机床工作台的电动机发出相互协调的进给脉冲，使工作台（工件）按指定的路径运动。例如，图 2-1 所示为斜线（直线） OA 的插补过程。 O 点为切割起点， X 、 Y 轴分别表示工作台的纵、横进给方向。取斜线的起点 O 为坐标原点， OA 终点坐标为 $(6, 4)$ ，先从坐标原点 O 和 X 轴正向进给一步，加工点（电极丝）由 O 移动到 M_1 ， M_1 点在 OA 的下方已偏离斜线，产生偏差。为使加工点向 OA 靠拢，需沿 Y 轴正向进给一步，加工点由 M_1 移动到 M_2 。 M_2 点在 OA 的上方，也偏离了斜线，产生了新的偏差。为了纠正这个偏差，应沿 X 轴正向进给一步。如此连续插补，直到斜线终点 $A(6, 4)$ 。电极丝相对工件的运动轨迹是折线 $O\rightarrow M_1\rightarrow M_2\cdots\rightarrow A$ 。斜线（直线）插