

数控专业技能型人才培养用书



电火花加工技术 与技能训练 (基础篇)

周晓宏 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

数控专业技能型人才培养用书

电火花加工技术 与技能训练

(基础篇)

周晓宏 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书根据电火花机床操作工岗位的技术和技能要求,介绍比较简单的电火花机床的技术和技能。本书按“项目”编写,精选了十六个“项目”,在“项目”下又分解为几个“任务”,是理论和实操一体化的教材。按照学生的学习规律,从易到难,在“任务”引领下介绍完成该任务(加工工件、操作机床等)所需理论知识和实操技能。项目内容包括:学习电火花加工基础知识、认识电火花加工的工艺规律、DK7725线切割机床的操作、HCKX250A型线切割机床的操作、方形冷冲凸模加工、样板零件加工、凹模零件的加工、凸凹模加工、电火花成型机床的操作、电火花穿孔加工工艺、简单方孔冲模电火花加工、花纹模具电火花加工、注射模镶块电火花加工、高速电火花小孔加工、电加工机床的维护及故障处理、中级电切削工考核。

本书所介绍的数控系统和电火花机床在生产实际中应用很广,举例丰富,图文并茂,通俗易懂,实用性强,适用面宽,各章都附有思考与练习题,供读者参考、练习。

本书适合作为学习电火花机床编程与加工技术及技能的教材,也可供高等职业技术学院、技校、中职的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业的学生阅读,还可供相关工种的社会化培训学员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电火花加工技术与技能训练. 基础篇/周晓宏主编. —北京:中国电力出版社, 2015. 1

数控专业技能型人才培训用书

ISBN 978-7-5123-6123-2

I. ①电… II. ①周… III. ①电火花加工-技术培训-教材
IV. ①TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 144823 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 358 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言



数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础；数控技术的应用是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段；数控机床是工业现代化的重要装备，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要标志。因此可以预见 21 世纪机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。当前，中国正在逐步变成“世界制造中心”，为了增强竞争能力，中国制造业开始广泛使用先进的数控技术，数控机床在企业的使用数量正在大幅度增加，企业正急需大批数控编程与加工方面的技能型人才。然而，目前国内掌握数控编程与加工的技能型人才严重短缺，这使得数控技术应用技能型人才的培养显得十分迫切，为适应培养数控技术应用技能型人才的需要，我们总结了自己在生产一线和教学岗位上多年的心得体会，同时结合学校教学的要求和企业要求，组织编写了这套教材。

本套教材根据数控机床的种类和工种分为：数控车削技术与技能训练、数控铣削技术与技能训练、加工中心技术与技能训练、电火花加工技术与技能训练，每一类机床和工种又分为“基础篇”和“提高篇”，共计 8 本。

本套教材按“项目”来编写，“项目”下又分解为多个“任务”，是一种理论和实操相结合的教材。每本教材都按照学生的学习规律，从易到难，精选了多个“项目”，在“任务”引领下介绍完成该任务（加工工件、操作机床等）所需理论知识和实操技能，符合目前我国职业教育界正大力提倡的“任务引领型”教学思路。“基础篇”介绍比较简单的数控加工的技术和技能，“提高篇”介绍比较复杂的数控加工的技术和技能。

本套教材的可操作性很强，读者按照该套教材的思路，通过书中项目的学习和训练，可很快掌握各种数控加工技术和技能。该套教材可大大提高学生学习数控加工技术和技能的兴趣和针对性，学习效率高。在编写过程中，突出体现“知识新、技术新、技能新”的编写思想，介绍知识和技能以“实用、可操作性强”为基本原则，不追求理论知识的系统性和完整性。本套教材是在作者多年来从事数控加工、编程方面的教学、科研、生产工作经验的基础

上编写的，书中举例丰富，各章都附有思考与练习题，供读者参考。

本书适合作为学习数控编程与加工技术和技能的教材，也可供高等职业技术学院、技校、中职的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业的学生阅读，还可供相关工种的社会化培训学员阅读。

本套教材由深圳技师学院周晓宏副教授、高级技师主编，肖清、刘向阳参加编写。

由于编者水平有限，书中难免存在一些疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者



目 录



前言

➤ 项目一 学习电火花加工基础知识	1
任务一 学习电火花加工的原理	1
任务二 了解电火花加工的优缺点与工艺范围	3
任务三 了解电火花成型加工和线切割加工的异同	5
任务四 认识电加工机床的型号和技术参数	6
思考与练习	10
➤ 项目二 认识电火花加工的工艺规律	13
任务一 认识电火花加工的工艺参数和工艺指标	13
任务二 了解影响材料放电腐蚀的因素	16
任务三 掌握电火花线切割加工的工艺规律	18
任务四 掌握电火花成型加工的工艺规律	24
思考与练习	34
➤ 项目三 DK7725 线切割机床的操作	37
任务一 了解线切割机床的原理、组成及加工流程	37
任务二 学习 YH 自动编程系统的使用方法	40
任务三 学会操作电火花线切割机床	50
任务四 学会选择与调整电极丝	65
任务五 学会使用线切割工作液	72
思考与练习	75

➤ 项目四 HCKX250A 型线切割机床的操作	77
任务一 学习机床主机的操作	77
任务二 学习机床面板操作	82
任务三 学习线切割机床操作规程	85
思考与练习	88
➤ 项目五 方形冷冲凸模加工	89
任务一 学习直线 3B 代码编程	89
任务二 方形冷冲凸模 3B 代码加工技能训练	92
任务三 线切割编程训练	93
思考与练习	94
➤ 项目六 样板零件加工	95
任务一 学习圆弧 3B 代码编程	95
任务二 加工穿丝孔	96
任务三 样板零件加工技能训练	97
任务四 凸模零件加工实训	99
思考与练习	100
➤ 项目七 凹模零件的加工	102
任务一 学习 ISO 代码编程方法	102
任务二 凹模零件加工技能训练	106
任务三 ISO 代码编程训练	107
思考与练习	109
➤ 项目八 凸凹模加工	111
任务一 学会使用 WAP-2000 线切割自动编程系统	111
任务二 项目实施	115
任务三 样板零件加工实训	127
思考与练习	128
➤ 项目九 电火花成型机床的操作	130
任务一 DK7125NC 型电火花成型机床的操作	130
任务二 SE 系列电火花成型机床的操作	138
任务三 学习电火花成型机床的操作技巧与操作规程	147
思考与练习	151

➤ 项目十 电火花穿孔加工工艺	153
任务一 小孔、深孔和微孔电火花加工工艺	153
任务二 电火花套料加工和简单穿孔	158
思考与练习	160
➤ 项目十一 简单方孔冲模电火花加工	161
任务一 学习基础知识	161
任务二 简单方孔冲模加工技能训练	167
任务三 冲模加工实训	168
思考与练习	169
➤ 项目十二 花纹模具电火花加工	170
任务一 学习电火花成型加工工艺方法	170
任务二 花纹模具电火花加工技能训练	177
任务三 技能拓展:多工具电极更换加工	179
思考与练习	180
➤ 项目十三 注射模镶块电火花加工	182
任务一 学习电规准和电极设计知识	182
任务二 项目实施	189
任务三 电极设计和模具加工实训	190
思考与练习	191
➤ 项目十四 高速电火花小孔加工	192
任务一 了解高速电火花小孔加工机床的结构和原理	192
任务二 了解高速电火花小孔加工工艺	195
任务三 学习高速电火花小孔加工应用实例	197
任务四 技能拓展:“空气开关”压胶盖模加工	201
思考与练习	203
➤ 项目十五 电加工机床的维护及故障处理	204
任务一 线切割机床的维护及常见故障处理	204
任务二 电火花成型机床的维护及常见故障处理	208
思考与练习	211

项目十六 中级电切削工考核 213

任务一 中级电切削工实操考核一（线切割方向）	213
任务二 中级电切削工实操考核二（线切割方向）	214
任务三 中级电切削工实操考核三（电火花方向）	215
任务四 中级电切削工实操考核四（电火花方向）	216
任务五 中级电切削工理论考核试题	217
思考与练习	223

思考与练习客观题参考答案 225

参考文献 227

项目一

学习电火花加工基础知识

知识目标：学习电火花加工工作原理。

技能目标：会根据零件的种类选择电火花机床。

任务一 学习电火花加工的原理

一、电火花加工的概念

电火花加工一般是指直接利用放电对金属材料进行的加工，由于加工过程中可看见火花，因此被称为电火花加工。电火花加工主要有电火花线切割、电火花成型加工等。

1. 电火花线切割加工的概念

电火花线切割加工（Wire Cut EDM）是在电火花加工的基础上发展起来的一种新兴加工工艺，采用细金属丝（钼丝或黄铜丝）作为工具电极，使用电火花线切割机床根据数控编程指令进行切割，加工出满足技术要求的工件。

2. 电火花成型加工的概念

电火花成型加工（Electrical Discharge Machining, EDM）也称为放电加工、电蚀加工或电脉冲加工，是一种靠工具电极（简称工具或电极）和工件电极（简称工件）之间的脉冲性火花放电来蚀除多余的金属，直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。

电火花线切割加工（简称线切割加工）和电火花成型加工（简称电火花加工）是企业常用的加工方法。线切割加工主要用于冲模、挤压模、小孔、形状复杂的窄缝及各种形状复杂零件的加工，如图 1-1 所示。电火花加工主要用于形状复杂的型腔、凸模、凹模等的加工，如图 1-2 所示。

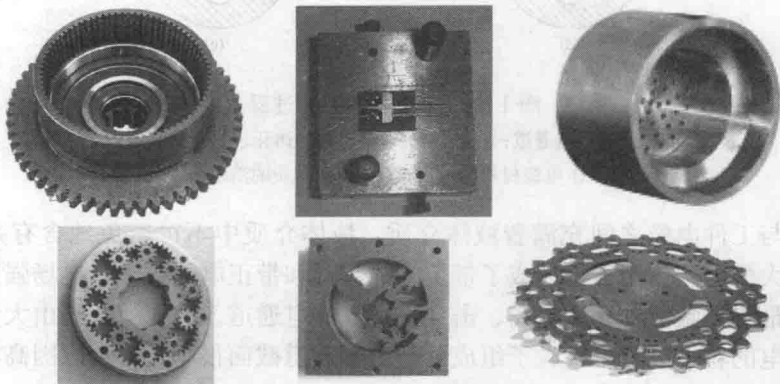


图 1-1 线切割加工产品

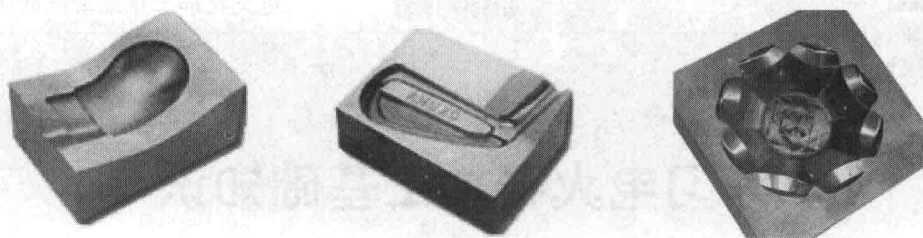


图 1-2 电火花成型加工产品

二、电火花加工的原理

电火花加工是在工件和工具电极之间的极小间隙上施加脉冲电压,使这个区域的介质电离,引发火花放电,从而将该局部区域的金属工件熔融蚀除掉,反复不断地推进这个过程,逐步地按要求去除多余的金属材料而达到加工尺寸的目的,如图 1-3 所示。

电火花加工的过程大致分为以下几个阶段,如图 1-4 所示。

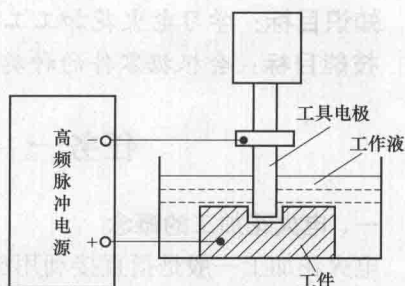


图 1-3 电火花加工原理示意图

(1) 极间介质的电离、击穿,形成放电通道,如图 1-4 (a)所示。工具电极与工件电极缓缓靠近,极间的电场强度增大,由于两电极的微观表面是凹凸不平的,因此在两极间距离最近的 A、B 处电场强度最大。

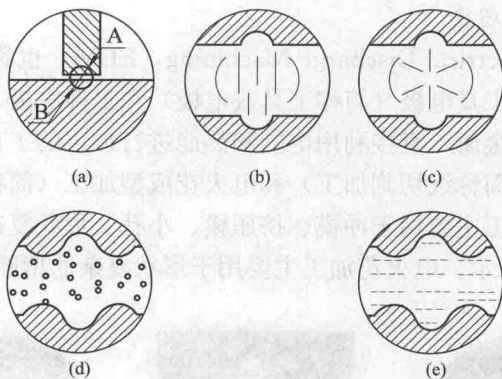


图 1-4 电火花加工的过程

(a) 形成放电通道; (b)、(c) 电极材料的熔化、汽化热膨胀;
(d) 电极材料的抛出; (e) 极间介质的消电离

工具电极与工件电极之间充满着液体介质,液体介质中不可避免地含有杂质及自由电子,它们在强大的电场作用下,形成了带负电的粒子和带正电的粒子,电场强度越大,带电粒子就越多,最终导致液体介质电离、击穿,形成放电通道。放电通道是由大量高速运动的带正电和带负电的粒子以及中性粒子组成的。由于通道截面很小,通道内因高温热膨胀形成的压力高达几万帕,高温高压的放电通道急速扩展,产生一个强烈的冲击波向四周传播。在

放电的同时还伴随着光效应和声效应,这就形成了肉眼所能看到的电火花。

(2) 电极材料的熔化、汽化热膨胀如图 1-4 (b)、(c) 所示。液体介质被电离、击穿,形成放电通道后,通道间带负电的粒子奔向正极,带正电的粒子奔向负极,粒子间相互撞击,产生大量的热能,使通道瞬间达到很高的温度。通道高温首先使工作液汽化,然后高温向四周扩散,使两电极表面的金属材料开始熔化直至沸腾汽化。汽化后的工作液和金属蒸气瞬间体积猛增,形成了爆炸的特性。所以在观察电火花加工时,可以看到工件与工具电极间有冒烟现象,并听到轻微的爆炸声。

(3) 电极材料的抛出如图 1-4 (d) 所示。正负电极间产生的电火花现象,使放电通道产生高温高压。通道中心的压力最高,工作液和金属汽化后不断向外膨胀,形成内外瞬间压力差,高压力的熔融金属液体和蒸气被排挤,抛出放电通道,大部分被抛入到工作液中。仔细观察电火花加工,可以看到橘红色的火花四溅,这就是被抛出的高温金属熔滴和碎屑。

(4) 极间介质的消电离如图 1-4 (e) 所示。加工液流入放电间隙,将电蚀产物及残余的热量带走,并恢复绝缘状态。若电火花放电过程中产生的电蚀产物来不及排除和扩散,产生的热量将不能及时传出,使该处介质局部过热,局部过热的工作液高温分解、积炭,使加工无法继续进行,并烧坏电极。因此,为了保证电火花加工过程的正常进行,在两次放电之间必须有足够的时间间隔让电蚀产物充分排出,恢复放电通道的绝缘性,使工作液介质消电离。

上述步骤 (1) ~ (4) 在 1s 内约数千次甚至数万次地往复式进行,即单个脉冲放电结束,经过一段时间间隔(即脉冲间隔)使工作液恢复绝缘后,第二个脉冲又作用到工具电极和工件上,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,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。所以电火花加工是大量的微小放电痕迹逐渐累积而成的去除金属的加工方式。

任务二 了解电火花加工的优缺点与工艺范围

一、电火花加工的优点

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

这是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。

二、电火花加工的缺点

电火花加工也有其局限性,具体表现在以下几个方面。

(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,影响成型精度。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。

三、电火花加工的工艺类型和适用范围

按工具电极和工件相对运动的方式和用途的不同,大致可分为电火花穿孔成型加工、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、电火花表面强化与刻字六大类。前五类属电火花成型、尺寸加工,是用于改变工件形状或尺寸的加工方法;后者则属表面加工方法,用于改善或改变零件表面性质。以上应用类型以电火花穿孔成型加工和电火花线切割应用最为广泛。表 1-1 为总的分类情况及各加工方法的主要特点和用途。本书只介绍电火花成型加工和电火花线切割加工。

表 1-1

电火花加工的工艺类型

类别	工艺类型	特点	适用范围	备注
1	电火花穿孔成型加工	(1) 工具和工件间主要只有一个相对的伺服进给运动 (2) 工具为成型电极,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、各种异形孔及微孔等 (2) 型腔加工:加工各类型腔模及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 等电火花穿孔成型机床

续表

类别	工艺类型	特点	适用范围	备注
2	电火花线切割加工	(1) 工具电极为顺电极丝轴线垂直移动着的线状电极 (2) 工具与工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动	(1) 切割各种冲模和具有直纹面的零件 (2) 下料、截割和窄缝加工	约占电火花机床总数的60%，典型机床有DK7725、DK7740 数控电火花线切割机床
3	电火花内孔、外圆和成型磨削	(1) 工具与工件有相对的旋转运动 (2) 工具与工件间有径向和轴向的进给运动	(1) 加工高精度、表面粗糙度值小的小孔，如拉丝模、挤压模、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) 成型工具与工件均作旋转运动，但二者角速度相等或成整倍数，相对应接近的放电点可有切向相对运动速度 (2) 工具相对工件可作纵、横向进给运动	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、高对称度、表面粗糙度值小的内、外回转体表面等	约占电火花机床总数不足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 ($>\phi 0.3\text{mm}$) 电极，管内冲入高压水基工作液 (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) 深径比很大的小孔，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、刻字	(1) 工具在工件表面上震动，在空气中放火花 (2) 工具相对工件移动	(1) 模具刃口，刀、量具刃口表面强化和镀覆 (2) 电火花刻字、打印记	占电火花机床总数的1%~2%，典型设备有D9105 电火花强化机等

任务三 了解电火花成型加工和线切割加工的异同

下面来认识电火花成型加工和电火花线切割加工的共同点和不同点。

一、电火花成型加工和线切割加工的共同特点

(1) 二者的加工原理相同，都是通过电火花放电产生的热来熔解去除金属的，所以二者加工材料的难易与材料的硬度无关，加工中不存在显著的机械切削力。

(2) 二者的加工机理、生产率、表面粗糙度等工艺规律基本相似，可以加工硬质合金等一切导电材料。

(3) 最小角部半径有限制。电火花加工中最小角部半径为加工间隙，线切割加工中最小角部半径为电极丝的半径加上加工间隙。

二、电火花成型加工和线切割加工的不同特点

(1) 从加工原理来看，电火花加工是将电极形状复制到工件上的一种工艺方法，如图1-5 (a)

所示。在实际中可以加工通孔(穿孔加工)和盲孔(成型加工),如图1-5(b)、(c)所示;而线切割加工是利用移动的细金属导线(铜丝或钼丝)做电极,对工件进行脉冲火花放电,切割成型的一种工艺方法,如图1-6所示。

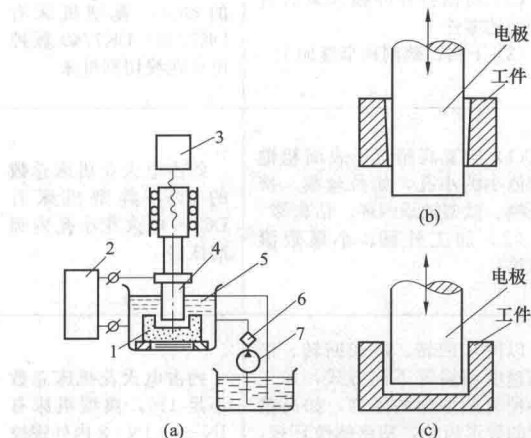


图1-5 电火花加工

(a) 电火花加工原理示意图; (b) 穿孔加工; (c) 成型加工

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

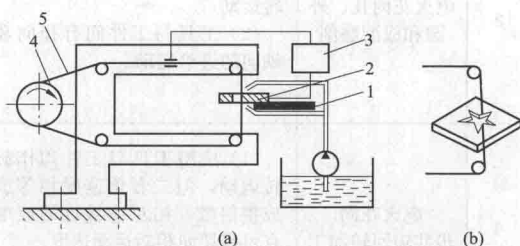


图1-6 线切割加工

(a) 线切割加工原理; (b) 线切割加工示意图

1—绝缘底板; 2—工件; 3—脉冲电源;
4—储丝筒; 5—电极丝

(2) 从产品形状角度看,电火花加工必须先用数控加工等方法加工出与产品形状相似的电极;线切割加工中产品的形状是通过工作台按给定的控制程序移动而合成的,只对工件进行轮廓图形加工,余料仍可利用。

(3) 从电极角度看,电火花加工必须制作成型用的电极(一般用铜、石墨等材料制作而成);线切割加工用移动的细金属导线(铜丝或钼丝)做电极。

(4) 从电极损耗角度看,电火花加工中电极相对静止,易损耗,故通常采用多个电极加工;而线切割加工中由于电极丝连续移动,使新的电极丝不断地补充和替换在电蚀加工区受到损耗的电极丝,避免了电极损耗对加工精度的影响。

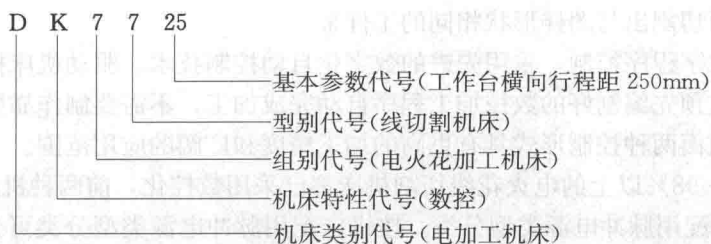
(5) 从应用角度看,电火花加工可以加工通孔、盲孔,特别适宜加工形状复杂的塑料模具等零件的型腔以及刻文字、花纹等;而线切割加工只能加工通孔,能方便地加工出小孔、形状复杂的窄缝及各种形状复杂的零件。

任务四 认识电加工机床的型号和技术参数

一、线切割机床的型号

1. 我国自主生产的线切割机床

我国自主生产的线切割机床型号的编制是根据 GB/T 15375—2008《金属切削机床型号编制方法》规定进行的,机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成,它表示机床的类别、特性和基本参数。以型号 DK7725 数控线切割机为例,其含义如下:



2. 我国台湾地区或内地引进生产的线切割机床

我国台湾地区机床生产厂商很多,如庆鸿、亚特、徠通、健升、乔懋、美溪、秀丰、健晟等数十家。其机床的编号没有统一,按照自己公司标准制定,一般也是以系列代码加机床基本参数代号来编制。

内地引进的线切割机床主要有苏州电加工研究所中特公司、苏州三光科技公司、汉川机床公司,其机床编号符合我国机床编号标准。

3. 国外生产的线切割机床

国外生产线切割机床厂商主要有瑞士和日本两国,主要的公司有:瑞士阿奇夏米尔公司、日本三菱电机公司、日本沙迪克公司、日本 FANUC 公司、日本牧野公司、日本二洋公司。

国外机床的编号一般也是以系列代码加基本参数代号来编制,如日本沙迪克公司的 A 系列、AQ 系列、AP 系列,三菱电机公司的 FA 系列等。

二、线切割机床分类

1. 按走丝速度分类

根据电极丝的运行速度不同,电火花线切割机床通常分为两类。

(1) 一类是高速走丝电火花线切割机床 (WEDM-HS), 电极丝作快速往复运动, 一般走丝速度为 $8\sim 10\text{m/s}$, 电极丝可重复使用, 加工速度较慢, 快速走丝容易造成电极抖动和反向时停顿, 致使加工质量下降, 它是我国生产和使用的主要机床品种, 也是我国独创的电火花线切割加工模式。

(2) 另一类是低速走丝电火花线切割机床 (WEDM-LS), 其电极丝作慢速单向运动, 一般走丝速度低于 0.2m/s , 电极丝放电后不再使用, 工作平稳、均匀、抖动小、加工质量较好, 且加工速度较快, 是国外生产和使用的主要机床品种。

2. 按其他方式分类

(1) 按机床工作台尺寸与行程。也就是按照加工工件最大尺寸大小, 可分为大型、中型、小型线切割机床。

(2) 按加工精度。按加工精度高低, 可分为普通精度型、高精度精密型两大类线切割机床。绝大多数低速走丝线切割机床属于高精度精密型机床。

(3) 按机床控制形式分类。按控制形式不同, 电火花线切割机床可分为三种。

第一种是靠模仿形控制, 在进行线切割加工前, 预先制造出与工件形状相同的靠模, 加工时把工件毛坯和靠模同时装夹在机床工作台上, 在切割过程中电极丝紧紧地贴着靠模边缘作轨迹移动, 从而切割出与靠模形状和精度相同的工件来。

第二种是光电跟踪控制, 在进行线切割加工前, 先根据零件图样按一定放大比例描绘出一张光电跟踪图, 加工时将图样置于机床的光电跟踪台上, 跟踪台上的光电头始终追随墨线图形的轨迹运动, 再借助于电气、机械的联动, 控制机床工作台连同工件相对电极丝作相似



形的运动,从而切割出与图样形状相同的工作来。

第三种是数字程序控制,采用先进的数字化自动控制技术,驱动机床按照加工前根据工件几何形状参数预先编制好的数控加工程序自动完成加工,不需要制作靠模样板,也无需绘制放大图,比前面两种控制形式具有更高的加工精度和广阔的应用范围。

目前国内外 98% 以上的电火花线切割机床都已采用数控化,前两种机床已经停产。

(4) 按机床配用脉冲电源类型分类。按机床配用脉冲电源类型分类可分为 RC 电源、晶体管电源、分组脉冲电源及自适应控制电源机床等。

目前,单纯配用 RC 电源的线切割机床已经停产,最新的电源为纳秒级大峰值电流脉冲电源与防电解(AE)脉冲电源。先进的低速走丝电火花线切割机床采用脉冲电源脉宽仅几十纳秒,峰值电流在 1000A 以上,形成汽化蚀除,不仅加工效率高,而且表面质量大大提高。防电解电源是解决工件“软化层”的有效技术手段,防电解电源采用交变脉冲,平均电压为零,使在工作液中的 OH^- 离子电极丝与工件之间处于振荡状态,不趋向工件和电极丝,防止工件材料氧化。采用防电解电源进行电火花线切割加工,可使表面变质层控制在 $1\mu\text{m}$ 以下,避免硬质合金材料中钴的析出溶解,保证硬质合金模具寿命。测试结果表明,防电解电源加工硬质合金模具寿命已接近机械磨削加工,在接近磨损极限处甚至优于机械磨削加工。

三、线切割机床的主要技术参数

表 1-2 为国家已颁布的 GB 7925—1987《电火花线切割机床参数》标准。

表 1-2 线切割机床参数 (GB 7925—1987)

mm

工作台	横向行程	100		125		160		200		250		320		400		500		630	
	纵向行程	125	160	160	200	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000
	最大承载质量/kg	10	15	20	25	40	50	60	80	120	160	200	250	320	500	500	630	960	1200
工件尺寸	最大宽度	125		160		200		250		320		400		500		630		800	
	最大长度	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000	1000	1250	1250	1600
	最大切割厚度	40、60、80、100、120、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600																	
最大切割锥度		0°、3°、6°、9°、12°、15°、18° (18°以上,每挡间隔增加 6°)																	

数控线切割机床的主要技术参数包括:工作台行程(纵向行程×横向行程)、最大切割厚度、加工表面粗糙度、加工精度、切割速度以及数控系统的控制功能等。表 1-3 为 DK77 系列数控线切割机床的主要型号及技术参数。

表 1-3 DK 77 系列数控线切割机床的主要型号及技术参数

机床型号	DK 7716	DK 7720	DK 7725	DK 7732	DK 7740	DK 7750	DK 7763	DK 77120
工作台行程/mm	200×160	250×200	320×250	500×320	500×400	800×500	800×630	2000×1200
最大切割厚度/mm	100	200	140	300 (可调)	400 (可调)	300	150	500 (可调)
加工表面粗糙度 R_a /mm	2.5	2.5	2.5	2.5	6.3~3.2	2.5	2.5	
加工精度/mm	0.01	0.015	0.012	0.015	0.025	0.01	0.02	
切割速度/(mm^2/min)	70	80	80	100	120	120	120	
加工锥度	3°~60°各厂家的型号不同							
控制方式	各种型号均有单板（或单片）机或微机控制							
各厂家生产的机床切割速度有所不同								