

数控线切割加工 实用技术

李立○编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控线切割加工实用技术

李立 编著

机械工业出版社

本书讲解最新的线切割机床的操作与编程技术及基础放电切割原理。语言通俗易懂,知识实用。以实际操作经验为主,包括高速走丝与低速走丝知识。高速走丝以北京阿奇夏米尔 FW2 为例,低速走丝以日本沙迪克(Sodick) AQ 机床为例,为适应线切割人才的需求而编写。

可供模具数控电加工人员、职业技术学院师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控线切割加工实用技术/李立编著. —北京:机械工业出版社, 2007.9

ISBN 978-7-111-22241-5

I. 数… II. 李… III. 数控线切割 IV. TG481

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134216 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:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 9.625 印张 · 362 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22241-5

定价:30.00 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) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前言

目前,数控设备已经大量进入制造业,作为特种加工家庭的一员,数控电火花线切割加工是对传统机械加工方法的有力补充和延伸,现已成为模具和工具行业不可缺少的重要加工方法,并正向着精密化、智能化方向发展,同时也成为设计制造中实现奇妙构思所不可缺少的工艺方法。

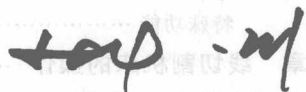
笔者十余年来在沿海地区各大模具公司从事生产一线特种加工的电加工作,对电加工机床操作、电加工机床编程与电加工培训均有独到的见解。在实际工作中,笔者深深地感到,现有的数控电火花线切割加工的著作或教材从内容上可以分为学科性教育和职业性教育两大类,学科性教育侧重于理论、知识和学术的严谨和完整,而职业性教育侧重于生产和工作的实际需要。但在目前的图书市场上,职业性教育类的著作或教材实在太少,很少有以实用为主题的教材。有一些以实用为主题的教材高速走丝讲得又太多,而低速走丝讲得太少。为了培养既懂基本数控电加工理论又能独立操作数控电加工机床,具有创新能力和实践动手能力,并能掌握实用加工技巧,成为基本理论与实用技能并重的复合型全面人才,本书努力将学科性教育基础理论知识和职业性教育的实训技能内容进行糅合,并力求突出“实用”二字,使读者处于数控电火花线切割加工技术的发展前沿,拉近读者与国外电加工技术应用的距离。

本书主要讲解最新的线切割机床的操作与编程技术及基础放电切割原理,包括高速走丝与低速走丝知识。高速走丝以北京阿奇夏米尔 FW2 机床为例,低速走丝以日本沙迪克 (Sodick) AQ 机床为例。

本书在编写过程中得到机械工业出版社、上海沙迪克公司、上海阿奇夏米尔公司、思美创 (北京) 科技有限公司、上海学府机电科技有限公司、上海南部塑料制品有限公司、深圳汇盛精密模具有限公司的大力支持和帮助,并得到深圳市线切割技师黄建、唐亚辉众多专家的指导和鼎力相助;同时参考了大量的图书出版资料以及网络资料,谨此表示衷心的感谢和崇高敬意!

限于笔者的知识水平和经验,不足之处恳请广大专家和读者批评指正。

编者



2007年9月 于 上海

目 录

前言

第1篇 加工基础

第1章 线切割行业简介与发展

前景 3

1.1 线切割行业简介 3

1.1.1 电加工概述 3

1.1.2 线切割概述 4

1.2 线切割行业的发展前景 7

1.2.1 电火花线切割的产生与发展 7

1.2.2 我国电火花线切割加工技术的发展目标 8

1.2.3 国外与国内低速走丝电火花线切割加工技术的发展前景 11

第2章 线切割机床的分类及其

结构特点 18

2.1 线切割机床的分类 18

2.2 线切割机床的结构特点 22

2.2.1 高速走丝线切割机床的结构特点 22

2.2.2 低速走丝线切割机床的结构特点 24

2.3 线切割机床的特殊功能 26

2.3.1 数控线切割机床的常用功能 26

2.3.2 低速走丝线切割机床的特殊功能 27

第3章 线切割机床的操作 29

3.1 线切割加工原理 29

3.1.1 电火花线切割加工基本

原理 29

3.1.2 电火花线切割加工过程 31

3.2 线切割加工中的参数 32

3.2.1 电参数对线切割加工的影响 32

3.2.2 非电参数对线切割加工的影响 34

3.2.3 线切割加工工艺参数的选择 39

3.3 线切割机床的操作 41

3.3.1 电火花线切割加工流程及步骤 41

3.3.2 图样分析与毛坯准备 43

3.3.3 工件的装夹 46

第4章 线切割机床的编程 47

4.1 线切割编程概述 47

4.2 3B与NC程式编制 48

4.2.1 常用的3B、G、M、T代码 48

4.2.2 线切割机床3B与NC程式格式实例 52

4.3 线切割编程软件 55

4.3.1 Sodick 机床上的 Heart NC 软件 55

4.3.2 北京阿奇夏米尔机床上的 TurboCAD 软件 55

4.3.3 Mastercam Wire Version9.0 通用编程软件 59

4.3.4 Cimatron CAD/CAM 的线切割软件 Fikus 60

4.3.5 ESPRIT 线切割系统 (SolidWire) 62

第2篇 加工实训

第5章 加工实训 69

5.1 实训1——线切割机床的

操作面板 69

5.1.1 高速走丝机床的操作

面板 69

5.1.2 低速走丝机床的操作

面板 76

5.2 实训2——NC 程式中常用

代码的运用 82

5.2.1 G 代码 82

5.2.2 T 代码 95

5.2.3 M 代码 97

5.2.4 C 代码 98

5.2.5 其他代码 98

5.3 实训3——NC 程式手工

编程 100

5.3.1 万能切割圆形程式 100

5.3.2 万能切割矩形程式 102

5.3.3 万能工件分片程式 104

5.3.4 万能碰数找边程式 105

5.3.5 万能找孔中心程式 106

5.3.6 万能工件分中程式 107

5.4 实训4——HeatNC 与 Turbo

CAD 软件的使用 110

5.4.1 HeartNC 110

5.4.2 TurboCAD 115

5.5 实训5——Mastercam Wire

Version9 与 Cimatron Fikus

软件的使用 118

5.5.1 Mastercam Wire Version9 118

5.5.2 Cimatron Fikus 软件 138

5.6 实训6——线切割加工

参数 157

5.6.1 加工参数的选择 157

5.6.2 加工参数具体详解 159

5.7 实训7——线切割手工装

丝与自动穿剪丝 164

5.7.1 高速走丝装丝 164

5.7.2 低速走丝穿剪丝 167

5.8 实训8——线切割机床垂

直度与上下机嘴高度的调

校方法 168

5.8.1 高速走丝垂直度的调校 168

5.8.2 低速走丝垂直度的调校 169

5.8.3 低速走丝上下机嘴高度

的测量 170

5.9 实训9——线切割机床的

加工准备 197

5.9.1 装夹 197

5.9.2 校表 199

5.9.3 找边与分中 200

5.10 实训10——线切割全程

操作实例 202

5.10.1 加工准备 202

5.10.2 编程 205

5.10.3 加工 205

5.10.4 保养 205

第3篇 加工方法详解

第6章 一般加工方法详解 209

6.1 凸模的加工方法 209

6.1.1 凸模加工的定义 209

6.1.2 凸模加工的技巧 209

6.2 凹模的加工方法 210

6.2.1 凹模加工的定义 210

6.2.2 凹模加工的技巧 211

6.3 开形状的加工方法 211

6.3.1 开形状的加工定义 211

6.3.2 开形状的加工技巧 212

6.4 部分锥度的加工方法 213

6.4.1 部分锥度的加工定义 213

6.4.2 部分锥度的加工技巧	213
6.5 冲压模的加工方法	213
6.5.1 冲压模知识	213
6.5.2 冲压模间隙	214
6.6 复合模的加工方法	215
6.6.1 复合模加工的定义	215
6.6.2 复合模加工的技巧	215
第7章 特殊加工方法详解	216
7.1 穿丝孔为斜孔的加工方法	216
7.1.1 概要	216
7.1.2 加工步骤与技巧	216
7.2 斜导柱孔的加工方法	217
7.2.1 概要	217
7.2.2 加工步骤与技巧	217
7.3 上下异形的加工方法	219
7.3.1 概要	219
7.3.2 加工步骤与技巧	219
7.4 上下圆弧过渡的加工方法	220
7.4.1 概要	220
7.4.2 加工步骤与技巧	220
7.5 斜齿轮的加工方法	222
7.5.1 概要	222
7.5.2 加工步骤与技巧	222
7.6 斜顶孔的加工方法	225
7.6.1 概要	225
7.6.2 加工步骤与技巧	226
7.7 全周精加工的方法	227
7.7.1 概要	227
7.7.2 加工步骤与技巧	228
7.8 公模母模同出的加工方法	228
7.8.1 概要	228
7.8.2 加工步骤与技巧	229
7.9 多件加工的方法	230
7.9.1 概要	230

7.9.2 加工步骤与技巧	230
7.10 电极的加工方法	232
7.10.1 概要	232
7.10.2 加工步骤与技巧	232
7.11 精密配合孔的加工方法	233
7.11.1 概要	233
7.11.2 详细加工步骤与技巧	233

第4篇 加工异常的原因 与处理

第8章 断丝	237
8.1 概述	237
8.2 高速走丝断丝	237
8.2.1 加工前断丝	237
8.2.2 加工结束时断丝	237
8.2.3 加工中断丝	238
8.3 低速走丝断丝	238
8.3.1 加工前断丝	238
8.3.2 加工结束时断丝	239
8.3.3 加工中断丝	239
第9章 短路	241
9.1 简述短路的状况与后果	241
9.2 高速走丝短路	241
9.2.1 加工前短路	241
9.2.2 加工结束时短路	241
9.2.3 加工中短路	242
9.3 低速走丝短路	242
9.3.1 加工前短路	243
9.3.2 加工结束时短路	243
9.3.3 加工中短路	243
第10章 加工不良	245
10.1 尺寸精度不良	245
10.1.1 机床的原因	245
10.1.2 材质的原因	246
10.1.3 电极丝的原因	246
10.2 表面精度不良	247

10.2.1 机床的原因	247	10.5 过切不良	253
10.2.2 材质的原因	247	10.5.1 过切的状况与危害	253
10.2.3 电极丝的原因	248	10.5.2 过切的处理	253
10.3 加工速度不良	249	附录	255
10.3.1 高速走丝合理调整进给速度的方法	249	附录 A 安全操作规程	255
10.3.2 低速走丝合理调整加工速度的方法	249	附录 B 维护点检项目表	258
10.4 斜度加工不良	251	附录 C 线切割试题	270
10.4.1 机床的原因	252	附录 D 线切割加工工人等级标准	292
10.4.2 工件材质的原因	252	参考文献	295
10.4.3 电极丝的原因	252		

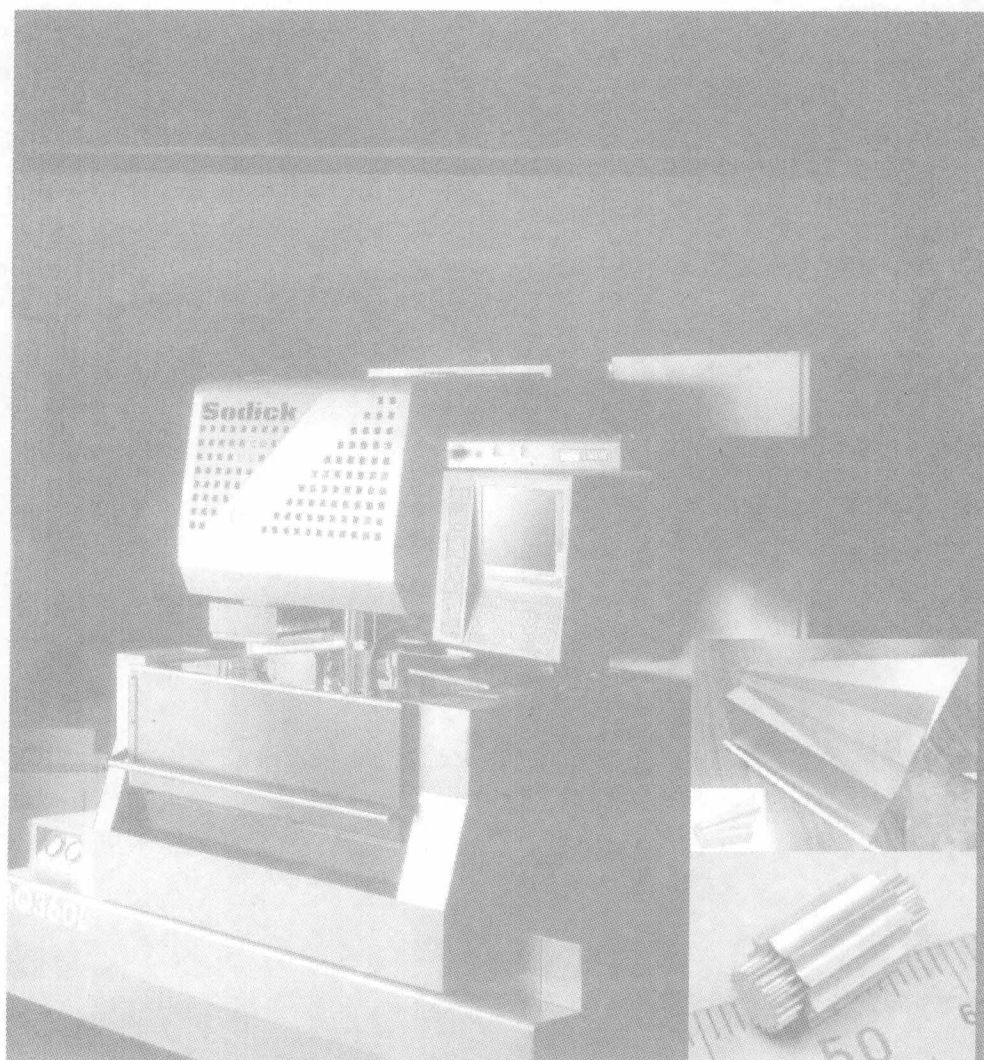
第1篇 加工基础

线切割行业简介与发展前景

线切割机床的分类及其结构特点

线切割机床的操作

线切割机床的编程



第1章 线切割行业简介与发展前景

1.1 线切割行业简介

1.1.1 电加工概述

电加工又称电火花加工（Electrical Discharge Machining，简称 EDM），属于特种加工的技术范畴，是先进制造技术的一个重要组成部分，是机械制造业中最广泛采用的机械切削加工和磨削加工的重要补充和发展，主要包括电火花成形加工和电火花线切割加工，以及电火花高速小孔加工。表 1-1 列出了常见电火花加工的分类情况及各类加工方法的主要特点与用途。

表 1-1 常见电火花加工的分类情况及各类加工方法的主要特点与用途

内容 分类	特 点	用 途	说 明
电火花成形加工	1) 工具和工件间主要只有一个相对的伺服进给运动 2) 工具为成形电极，与被加工表面有相同的截面和相反的形状	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零件	约占电火花机床总数的 30%，典型机床有北京阿奇夏米尔 SE 系列及日本 Sodick AM 系列等电火花成形机床
电火花线切割加工	1) 工具电极为顺电极丝轴线方向转动着的线状电极 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 及日本 Sodick AQ 数控电火花线切割机床
电火花高速小孔加工	1) 采用细管电极，管内冲入高压水基工作液 2) 细管电极旋转 3) 穿孔速度较高	1) 线切割穿丝预孔 2) 深径比很大的小孔，如喷嘴小孔等	约占电火花机床的 2.5%，典型机床有北京阿奇 SD1 电火花小孔加工机床

电火花加工时，工件与加工所用的工具为极性不同的电极对，加工时，电极对之间充满工作液，主要起恢复电极间的绝缘状态及带走放电时产生的热量的作用，以维持电火花加工的持续放电。为便于理解和对比，将电火花加工时所用工具称为工具电极（简称电极），而工件则仍称做工件。在正常电火花加工

过程中,电极与工件并不接触,而是保持一定的距离(称做间隙),在工件与电极间施加一定的电压,当电极向工件进给至某一距离时,两极间的工作液介质被击穿,局部产生火花放电,放电产生的瞬时高温将电极对的表面材料熔化甚至汽化,逐步蚀除工件,通过控制连续不断地脉冲式的火花放电,就可将工件材料按人们预想的要求予以蚀除,达到加工的目的,故称做电火花加工。日、美、英等国通常称做放电加工或电蚀加工。

1.1.2 线切割概述

电火花线切割加工(Wire Cut EDM,简称WEDM)是比较常用的特种加工方法之一,在特种加工中它又属于电火花加工一类,是直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。加工时,电极丝与工件在X、Y及U、V两个水平方向同时有相对伺服进给运动及垂直方向的直线相对运动。因为这种方法是用一根移动着的金属线(电极丝)作为工具电极与工件之间产生火花放电对工件进行切割,故称为线切割加工。由于现在的电火花线切割机床的工件与电极丝的相对切割运动都采用了数控技术来控制,所以称为数控电火花线切割加工或简称为数控线切割加工。

线切割放电加工基本原理是以铜线作为工具电极,在铜线与铜、钢或超硬合金等被加工物材料之间施加60~300V的脉冲电压,并保持5~50 μm 的间隙,间隙中充满煤油、纯水等绝缘介质,使电极与被加工物之间发生火花放电,并彼此被消耗、腐蚀,在工件表面上电蚀出无数的小坑,通过NC控制的监测和管控及伺服机构的执行,使这种放电现象均匀一致,从而使加工物达到产品要求的尺寸大小及形状精度。

1. 电火花线切割加工的特点

电火花线切割加工有以下一些特点:

1) 以直径为0.02~0.38mm的金属线为工具电极,与电火花成形加工相比,它不需制造特定形状的电极,省去了成形电极的设计和制造,缩短了生产准备时间,加工周期短。

2) 电火花线切割加工是用直径较小的电极丝作为工具电极,与电火花成形加工相比,电火花线切割加工的脉冲宽度、平均电流等都比较小,加工工艺参数的范围也较小,属于中、精电火花加工,一般情况下工件常接电源的正极,称为正极性加工。

3) 电火花线切割加工的主要对象是平面形状,除了在加工零件的内侧形状拐角处有最小圆弧半径的限制(最小圆弧半径为金属线的半径加放电间隙),其他任何复杂的形状都可以加工。

4) 电火花线切割加工是用电极丝作为工具电极与工件之间产生火花放电对

工件进行切割加工,由于电极丝的直径比较小,在加工过程中总的材料蚀除量比较小,所以使用电火花线切割加工比较节省材料,特别是在加工贵重材料时,能有效地节约贵重材料,提高材料的利用率。

5) 在加工过程中可以不考虑电极丝的损耗。在高速走丝线切割加工中采用低损耗的脉冲电源,目前普遍使用钼丝作为电极丝材料,通过对直径为0.18mm电极丝的使用检测发现,在电极丝的使用寿命期间,电极丝的直径损耗约为0.02mm,对于单一零件来说,电极丝的损耗就更小;在低速走丝线切割加工中采用单向连续的供丝方式,在加工区总是保持新电极丝加工,因而加工精度更高。

6) 电火花线切割在加工过程中的工作液一般为水基液或去离子水,因此不必担心发生火灾,可以实现安全无人加工,但由于工作液的电阻率远比煤油小,因而在开路状态下,仍有明显的电解电流。

7) 一般没有稳定电弧放电状态。因为电极丝与工件始终有相对运动,尤其是高速走丝电火花线切割加工,因此,线切割加工的间隙状态可以认为是由正常火花放电、开路 and 短路这三种状态组成,但常常在单个脉冲内存在多种放电状态,有“微开路”、“微短路”现象。

8) 电极丝与工件之间存在着“疏松接触”式轻压放电现象。近年来的研究表明,当电极丝与工件接近到通常认为的放电间隙(大约0.01mm)时,有的情况下并不发生火花放电,甚至当电极丝已接触到工件(从显微镜中看不到间隙时),仍然看不到火花,只有当工件将电极丝顶弯,偏移一定距离(几微米到几十微米)时,也就是当电极丝和工件之间保持一定的轻微接触压力时,才发生正常的火花放电。

9) 现在的电火花线切割机床一般都是依靠微型计算机来控制电极丝的轨迹和间隙补偿功能,所以在加工凸模与凹模时,它们的配合间隙可任意调节。

10) 电火花线切割加工是依靠电极丝与工件之间产生火花放电对工件进行加工,所以无论被加工工件的硬度如何,只要是导体或半导体的材料都能实现加工。而且随着电加工技术的进步,一些非导电材料经过特殊处理也能进行线切割加工或电火花加工。

11) 现在大多数电火花线切割机床具有四轴联动功能,可以加工上下异形形体、形状扭曲曲面体、变锥度和球形体等零件。而且有些机床增加了一个数控回转工作台附件,将工件装在采用步进电动机驱动的回转工作台上,采取数控移动和数控转动相结合的方式编程,可加工出螺旋表面、双曲线表面和正弦曲面等复杂空间曲面。

2. 电火花线切割加工的应用范围

电火花线切割加工的应用范围如下:

1) 试制新产品或开发工具、夹具。在新产品试制或工具、夹具开发过程中需要单件的样品,利用线切割直接加工出零件,无需设计和制造模具,这样可以大大缩短新产品或工具、夹具开发周期,并降低试制开发成本。

2) 加工特殊材料。切割某些高硬度、高熔点及贵重金属时,使用机加工的方法有时是不可能的,而利用线切割加工既经济又能保证精度。

3) 加工模具零件。电火花线切割加工主要应用于冲模、挤压模、塑料模及电火花成形加工用的电极等。由于电火花线切割加工机床的加工速度和精度不断提高,目前已达到可与坐标磨床相竞争的程度。比如某些中小型冲模,材料为模具钢,过去用分开模和曲线磨削的方法加工,现在改用电火花线切割整体加工,制造周期和成本都可减少大约一半,模具配合精度高,而且不需要熟练的操作工人。因此,一些工业发达国家精密模具的磨削等工序,已被电火花和线切割加工所代替。

3. 电火花线切割加工对加工工艺的影响

电火花线切割加工工艺与普通的机械加工工艺存在很大的差别。近年来随着科技的进步和生产的发展,出现了许多由坚硬而又难加工材料制成的,具有高尺寸精度和低表面粗糙度的复杂零件的加工,使得电火花线切割加工得到了广泛的应用,从而引起了机械制造工艺技术领域内的许多变革,具体表现在如下几个方面:

1) 提高了材料的可加工性。金刚石、硬质合金、淬火钢等硬度很高的材料通常都是很难加工的。由于电火花线切割加工的应用,对于这些硬度很高的材料,以及现在常用的各种冲压模、塑料模、粉末冶金模等各种模具和零件都可以用电火花线切割方法来加工它们。材料的可加工性不再与硬度、强度、韧性、脆性等成直接的比例关系;相反,在电火花线切割加工中,淬火钢比未淬火钢更容易加工。

2) 改变了零件的典型加工工艺路线。以往除了磨削外,其他的切削加工、成形加工等都必须安排在淬火热处理工序之前,这是工艺人员不可违反的工艺准则。电火花线切割等特种加工的出现,改变了这种一成不变的工艺准则。由于这些特种加工基本上不受材料硬度的影响;相反,为了避免加工后再淬火而引起热处理变形,零件在加工时都必须先淬火然后再进行线切割加工。

3) 改变了新产品试制的工序及工艺。在新产品开发过程中需要单件的样品,使用线切割直接切割出零件,可以省去设计和制造相应刀具、夹具、量具、模具和许多其他工具等,大大缩短了新产品开发周期,并降低了试制成本。如在冲压生产时,在未加工模具前,先利用线切割加工样板,再对样板进行成形加工,如果成形加工不理想,可以改变尺寸再利用线切割加工样板,直到得到满意的成形效果,然后根据比较合理的样板尺寸加工模具;还有在一些非标准齿

轮的成批加工之前,先利用线切割加工单个零件,再经过对零件的使用和改进,直到得到合理的齿轮参数,再根据此参数批量加工成形的齿轮加工刀具;另外在电动机、变压器等新产品开发时,也可以利用线切割先加工特殊的定子、转子、铁心等零件。

4) 影响了零件的结构设计。过去被认为工艺性很差的方孔、小孔、窄缝等结构,对于设计人员来说都是必须注意不能设计的结构,有的结构甚至是不可能加工出来的;而对于电火花线切割来说,这些特殊结构就变得非常容易加工了;还有以往在模具加工中,如山形硅钢片冲模,由于不容易制造,往往采用拼镶结构,采用了电火花线切割加工后,即使是硬质合金的模具或刀具,也可做成整体结构。

5) 为一些零件小批量加工提供了方法。电火花线切割加工属于特种加工的一种,在过去的很长一般时间里,由于线切割加工的速度较慢,导致加工费用较高,它被视为“特殊”加工,一般只有在其他方法不可加工的情况下才使用;近来由于在脉冲电源、机床的机械结构、工作液及加工工艺等方面的发展,使得电火花线切割的加工速度得到了很大的提高,最高加工速度可达 $400\text{mm}^2/\text{min}$ 。加工费用也得到了进一步的降低,目前一般在 $0.03 \sim 0.04$ 元/ mm^2 ,这样使得线切割加工成为一些零件选择的加工方法,如一些尺寸较小的齿条、齿轮等零件的加工,采用电火花线切割加工的费用比普通机加工还要低。由于电火花线切割加工与普通机加工的原理差别很大,使用电火花线切割方法加工零件的质量往往要比使用普通机加工方法加工的零件质量好。

1.2 线切割行业的发展前景

1.2.1 电火花线切割的产生与发展

1870年,英国科学家普里斯特利(Priestley)最早发现放电对金属的腐蚀作用。如今在日常生活中放电对金属的腐蚀作用也是比较常见的现象,例如在插拔插头或开断电器开关触点时,常常发生放电把接触表面烧毛,腐蚀成粗糙不平的凹坑现象。在很长一段时间里电腐蚀一直被认为是一种有害的现象,直到1943年,前苏联科学院士拉扎连柯夫妇在研究开关触点受火花放电腐蚀损坏的现象和原因时,发现电火花的瞬时高温可以使局部的金属熔化、氧化而被腐蚀掉,从而开创和发明了电火花加工方法,线切割放电机也于1960年发明于前苏联。当时以投影器观看轮廓面前后左右手动进给工作台面加工,认为加工速度虽慢,却可加工传统机械不易加工的微细形状。代表的实用例子是化织喷嘴的异形孔加工。当时使用的工作液是矿物质性油(灯油),绝缘性高,极间距离

小,加工速度很低,实用性受限。

将电火花线切割机 NC 化,在脱离子水(接近蒸馏水)中加工的机型首先由瑞士放电加工机械制造厂在 1969 年巴黎工作母机展览会中展出,改进了加工速度,确立无人运转状况的安全性。但 NC 纸带的制成却很费事,若不用大型计算机自动程序设计,对使用者是很大的负担。在廉价的自动程序设计装置(Automatic Programed Tools,简称 APT)出现前,普及甚缓。

日本制造厂开发的用小型计算机自动程序设计的线切割放电加工机因廉价而加速普及。线切割放电加工的加工形状为二次元轮廓。自动程序装置采用简易形 APT(APT 语言比正式机型容易),简易形 APT 的出现使线切割放电机得到了快速发展。

我国自 1951 年开始电火花加工的试验研究工作。1959 年至 1960 年间先后派了许多技术人员到前苏联进修电加工技术,以后成立了多家电加工研究所、研究室。自 1960 年后,我国的电加工技术从引进、仿制迅速走上独立自主、自行研究开发的道路。20 世纪 60 年代初,中国科学院电工研究所研制成功我国第一台靠模仿形电火花线切割机床;1963 年上海电表厂工程师张维良创新性地研制出第一台高速走丝简易数控线切割样机,获得国家发明创造奖;1967 年至 1968 年间,上海复旦大学与上海交通电器厂联合研制成功了“复旦型”高速走丝电火花线切割机床,形成了我国特有的线切割机床品种,是当时生产中应用面最广、数量最大的数控电加工机床。

1979 年我国成立了全国性的电加工学会。1981 年我国高校间成立了特种加工教学研究会。这对特种加工的普及和提高起了很大的促进作用。由于我国幅员辽阔,人口众多,在工业发展过程中,对特种加工技术既有庞大的社会需求,又有巨大的发展潜力。1997 年我国电火花穿孔、成形机床的年产量大于 1000 台,电火花数控线切割机床的年产量超过 3800 台,其他电加工机床在 200 台以上。2002 年内电火花穿孔、成形机床的年产量大于 3000 台,电火花数控线切割机床的年产量大于 15000 台,电加工机床生产企业已由 50 多家增至 100 多家。特种加工的机床总拥有量也居世界的前列。我国已有多名科技人员获电火花、超声波、电化学加工等八项国家级发明奖。但是由于我国原有的工业基础薄弱,特种加工设备和整体技术水平与国际先进水平还有不小差距,高档电加工机床每年还从国外进口 300 台以上,有待我们去努力赶超。

1.2.2 我国电火花线切割加工技术的发展目标

随着模具等制造业的快速发展,近年来我国电火花线切割机床的生产和技术得到了飞速发展,同时对电火花线切割机床提出了更高的要求,促使我国电火花线切割生产企业积极采用现代研究手段和先进技术深入开发研究,向信息

化、智能化和绿色化方向不断发展,以满足市场的需要。未来的发展,将主要表现在以下几个方面:

1. 稳步发展高速走丝线切割的同时,重视低速走丝线切割机床的开发和发展

1) 高速走丝线切割机床依然稳步发展。由于高速走丝操作简单,加工性能价格比优异,深受内地广大用户欢迎,因而在未来较长时间内,高速走丝线切割机床仍是我国电加工行业的主要发展机型。现在我国高速走丝数控线切割机床的年产量已超过 15000 台,今后还会有所增长,但目前的发展重点是提高高速走丝数控线切割机床的质量和加工稳定性,使其满足那些量大、面宽的普通模具及一般精度要求的零件加工要求。根据市场的发展需要,高速走丝数控线切割机床的工艺水平必须相应提高,其最大切割速度应稳定在 $100\text{mm}^2/\text{min}$ 以上,而加工精度应控制在 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 范围内,加工零件的表面粗糙度 $R_a = 1 \sim 2\mu\text{m}$ 。这就需要在机床结构、加工工艺、高频电源及控制系统等方面加以改善,积极采用各种技术,重视窄脉宽、高峰值电流的高频电源的开发及应用。

2) 重视低速走丝线切割机床的开发和发展。低速走丝线切割机床由于电极丝移动平稳,易获得较高加工精度和较低的表面粗糙度,适于精密模具和高精度零件加工。我国在引进、消化、吸收的基础上,也开发并批量生产了低速走丝线切割机床,满足了国内市场的部分需要。现在必须加强对低速走丝线切割机床的深入研究,开发新的规格品种,为市场提供更多的国产低速走丝线切割机床。与此同时,还应该在大量实验研究的基础上建立完整的工艺数据库,完善 CAD/CAM 软件,使自主版权的 CAD/CAM 软件商品化。

2. 完善机床设计,改进走丝机构

1) 为使机床结构更加合理,必须用先进的技术手段对机床总体结构进行分析。这方面的研究将涉及到运用先进的计算机有限元模拟软件对机床的结构进行力学和热稳定性分析。为了更好地参与国际市场的竞争,还应该注意造型设计,在保证机床技术性能和清洁加工的前提下,使机床结构合理,操作方便,外形新颖。

2) 为了提高工作台运动的定位精度,除考虑热变形及先进的导向结构外,还应采用螺距误差补偿和间隙补偿技术,以提高机床的运动精度。龙门式机床的工作台只做 Y 方向运动, X 方向运动在龙门架上完成,上下导轮座挂于横梁上,可以分别控制。这不仅增加了丝杠的刚性,而且工作台只做 Y 方向运行,省去了 X 方向的滑板,有助于提高工作台的承载能力,降低整机总重量。

3) 高速走丝线切割机床的走丝机构,是影响其加工质量及加工稳定性的关键部件,目前存在的问题较多,必须认真加以改进。目前已开发的恒张力装置及可调速的走丝系统,应在进一步完善的基础上推广应用。