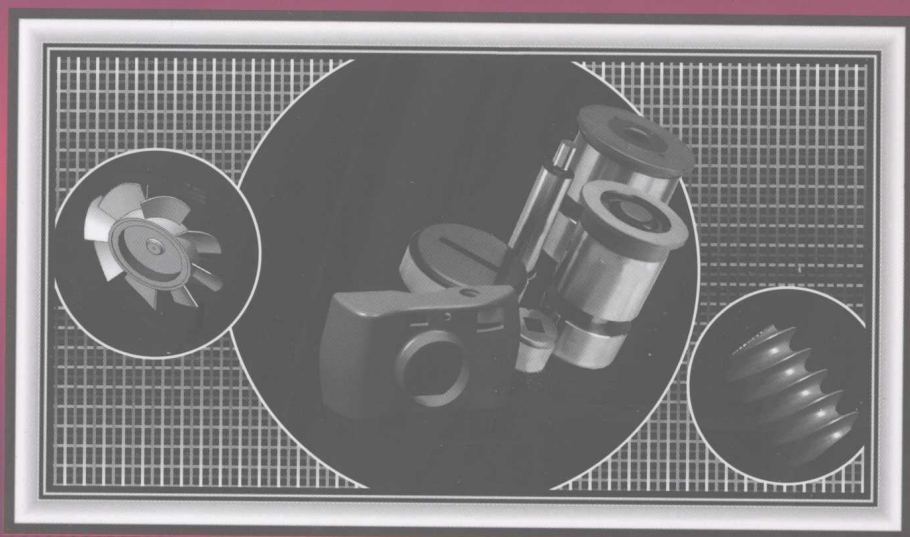


丘立庆 梁庆 邓敏和 罗赟 编著

模具数控电火花线切割 工艺分析与操作案例

MUJU SHUKONG DIANHUOHUA XIANQIEGE
GONGYI FENXI YU CAOZUO ANLI



化学工业出版社

MUJU SHUKONG DIANHUOHUA XIANQIEGE GONGYI FENXI YU CAOZUO ANLI



· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控电火花线切割工艺分析与操作案例/丘立庆等
编著. —北京: 化学工业出版社, 2007.12

ISBN 978-7-122-01461-0

I. 模… II. 丘… III. 模具-数控机床-电火花加工
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 180204 号

责任编辑: 李军亮
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 尹琳琳

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: 北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 7 字数 189 千字
2008 年 1 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: 18.00 元

版权所有 违者必究

前 言

社会的发展和科学技术的进步,使得塑料、五金制品的应用几乎遍布各个领域。而所有这些领域所应用到的产品,大多是要通过塑料、五金等模具来生产的。模具是相关产业社会化大生产中最为重要的一个环节,理所当然也得到了长足的发展和进步。

伴随着我国的经济的发展,模具的总体水平得到了前所未有的提高,也大大地缩短了与世界强国的距离。我国的制造业在全世界占据着举足轻重的地位,因此产生了社会对模具产业人才的大量需求,同时也对模具产业人才的水平提出了更高的要求。模具生产的工艺水平及科技含量的高低,已成为衡量一个国家科技与产品制造水平的重要标志,它在很大程度上决定着产品的质量、效益、新产品的开发能力,决定着一个国家制造业的国际竞争力。加入世贸组织后,中国正在逐步变成“世界制造中心”,为了增强竞争力,制造企业已开始广泛使用先进的数控技术来生产制造模具,模具制造已成为先进制造技术的一个重要组成部分。为了顺应形势的需要,满足广大模具制造技术人员和管理人员的需求,我们编写了《模具机械加工工艺分析与操作案例》、《模具数控铣削加工工艺分析与操作案例》、《模具数控电火花成型加工工艺分析与操作案例》、《模具数控电火花线切割工艺分析与操作案例》一系列图书,希望能对模具加工行业人员技术水平的提高有所帮助。

本书是根据我们多年实际工作中积累的经验编写而成的,采用了通俗的语言、详细的引导、对比的说明,使得读者更易于吸收。本书所列实例,全部经过生产验证,所给数据也都来自于实际的模具加工,读者可以参考使用。本书内容详细、齐全,将有助于提高读者在实际生产中的模具制造技术水平。

本书以模具数控电火花线切割加工工艺为主线,详细、系统地讲解了作为模具加工人员在实际工作过程中所应具备的知识。本书

可供模具制造业相关加工技术人员参考，也可供职业院校模具专业的师生参考。

本书在编写过程中，得到了深圳市嘉达机械厂 CNC 部、东莞振鹏塑胶模具厂设计部、广西诚基永信工程公司产品研发部、南宁燎旺车灯有限责任公司设计部、南宁职业技术学院机电系等单位提供的大量信息技术和宝贵的意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 数控电火花线切割加工工艺基础	1
1.1 数控电火花线切割加工设备与加工原理	1
1.1.1 数控电火花线切割设备组成	1
1.1.2 数控电火花线切割加工原理	3
1.2 数控电火花线切割机床分类	6
1.3 数控电火花线切割的加工对象	8
1.4 数控电火花线切割加工技术指标及其影响因素	9
1.4.1 数控电火花线切割加工主要工艺指标	9
1.4.2 数控电火花线切割加工主要工艺指标的影响因素	11
1.5 数控线切割加工工艺的制定	23
1.5.1 零件图的工艺分析	23
1.5.2 工艺准备	26
1.5.3 工件的装夹和位置校正	33
1.5.4 加工参数的选择	42
1.6 数控电火花线切割锥度加工工艺	43
1.6.1 切割大厚工件时的加工要点	44
1.6.2 锥度切割的加工要点	44
1.7 线切割加工中预防废品的方法和提高加工质量、效率的措施	45
1.7.1 线切割产生废品及质量差的因果关系	45
1.7.2 线切割加工中预防废品或次品产生的方法	45
1.7.3 提高线切割加工质量和效率的方法	47
第 2 章 模具数控电火花线切割加工工艺	51
2.1 模具数控电火花线切割加工的工艺分析	51
2.1.1 零件图样的工艺分析	52
2.1.2 零件工艺基准的选择	54
2.1.3 电极丝材料与直径的选择	54
2.1.4 穿丝孔直径与位置的确定	55
2.1.5 线切割路线的选择	55

2.1.6	交接处“突尖”的去除	56
2.2	模具数控电火花快走丝线切割加工工艺	56
2.2.1	数控电火花快走丝线切割加工工艺评价指标及其影响因素	57
2.2.2	数控电火花快走丝线切割加工工艺	62
2.3	数控电火花快走丝线切割加工稳定性分析	77
2.3.1	电源电规准对加工稳定性的影响	78
2.3.2	非电参数对加工稳定性的影响	79
2.3.3	数控电火花快走丝线切割断丝原因分析及预防措施	82
2.4	模具数控电火花慢走丝线切割加工工艺	87
2.4.1	影响数控电火花慢走丝线切割加工工件表面质量的因素 与改善措施	89
2.4.2	数控电火花慢走丝线切割断丝原因分析与对策	94
2.5	模具数控电火花线切割工艺中的若干问题及解决办法	99
2.5.1	线切割加工的模坯准备过程	99
2.5.2	线切割加工中变质层对模具寿命影响的分析	101
2.5.3	线切割加工中模具零件开裂原因分析及控制措施	107
2.5.4	大型模具零件线切割开裂原因分析和控制措施	111
2.5.5	复杂模具零件线切割开裂原因分析及改进措施	114
2.5.6	超行程模具的数控线切割加工工艺	119

第3章 冲裁模数控电火花线切割加工工艺分析及操作案例 122

3.1	冲裁模电火花线切割加工	122
3.1.1	冲裁模的电火花线切割加工工艺特点	122
3.1.2	冲裁模主要工作零件的慢走丝线切割加工工艺	124
3.1.3	电火花线切割同时加工凸凹模的工艺	130
3.2	冲裁模电火花线切割加工工艺中的若干问题和解决方法	132
3.2.1	电火花线切割制模工艺的常见问题与对策	132
3.2.2	凸凹模线切割过程中变形与开裂的规律及解决措施	133
3.2.3	冲裁模快走丝线切割加工中夹丝的防止措施	137
3.3	一般冲裁模数控电火花线切割加工工艺分析及操作案例	142
3.3.1	落料模凹模线切割加工	143
3.3.2	电动机冲裁模线切割加工	154
3.3.3	硅钢片冲裁模线切割加工	160
3.3.4	微特电动机硅钢片冲裁模的线切割加工	164
3.3.5	摩托车启动电动机转子硅钢片凸凹模芯线切割加工	167

3.3.6	冲裁模渐开线齿形的电火花线切割加工	170
3.3.7	冲孔模数控电火花线切割加工	172
3.3.8	弯曲模数控电火花线切割加工	176
3.4	复杂冲裁模数控电火花线切割加工工艺分析及操作案例	178
3.4.1	复合冲裁模数控电火花线切割加工	178
3.4.2	级进模数控电火花线切割加工	188
第4章	塑料模数控电火花线切割加工工艺分析及操作案例	192
4.1	数控电火花线切割在塑胶模加工中的应用	192
4.2	塑料模数控电火花线切割加工	194
4.2.1	塑料模镶件电火花线切割加工	194
4.2.2	塑料模型心电火花线切割加工	197
4.2.3	塑料异型材挤出模具定型模型腔整体线切割加工	198
4.2.4	骨架注塑模定模座板数控电火花线切割加工	200
第5章	压铸模数控电火花线切割加工工艺分析及操作案例	204
5.1	盒体压铸模的制造	204
5.2	盒体压铸模动模套板数控电火花线切割加工	205
参考文献		208

第 1 章

数控电火花线切割加工工艺基础

1.1 数控电火花线切割加工设备与加工原理

数控电火花线切割加工 (Wire Cut Electrical Discharge Machining, 简称 WEDM) 又称线切割。其基本工作原理是利用连续移动的细金属丝 (称为电极丝) 作电极, 对工件进行脉冲电火花放电蚀除金属, 切割成形。它主要用于加工各种形状复杂和精密细小的工件, 例如冲裁模的凸模、凹模、凸凹模、固定板、卸料板等, 成形刀具、样板、电火花成型加工用的金属电极, 各种微细孔槽、窄缝、任意曲线等, 具有加工余量小、加工精度高、生产周期短、制造成本低等优点, 已在生产中获得广泛的应用。目前国内外的数控电火花线切割机床已占电加工机床总数的 60% 以上。

1.1.1 数控电火花线切割设备组成

数控电火花线切割机床的组成见图 1-1, 共由 9 个部分组成。

(1) 控制柜

控制柜也称控制系统。它是线切割机床加工的重要组成部分之一, 控制系统的稳定性、可靠性、控制精度、步进原理等都会直接影响线切割的加工。控制系统的主要作用是在线切割过程中, 控制钼丝相对于工件的切割路径和进给速度, 来进行各种形状的加工, 同时使进给速度与工件材料的蚀除速度平衡。其主要有如下功能。

① 路径控制, 即精确地控制钼丝进行各种形状的切割。

② 加工控制, 即伺服进给速度、走丝机构、工作液的循环、电源的供给及其他控制。

目前线切割机的各种异形切割, 都是用数字程序来控制加工的, 都是直接画出 2D 图形 (就像用 AutoCAD 来画图一样), 然后

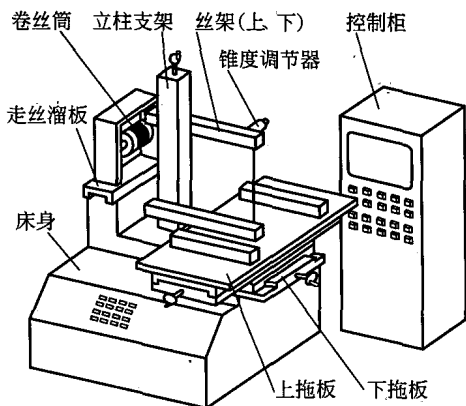


图 1-1 数控电火花线切割机床设备

经过机床专用软件的转换，把图形转换成机床能识别的信号，然后再通过转换后的信号来达到控制的目的，这个过程也称为数控电火花线切割的编程。

(2) 床身

床身是支撑整台机器和机械部分运动的平台，是机床的重要组成部分之一。线切割机除了控制柜不是安装在它的上面之外，其余的所有组件都是安装在床身上。

(3) 上拖板

它是使工件进行 X 方向移动的主要部件，是机床的重要组成部分之一。上拖板负责工件 X 方向的运动、碰数等。

(4) 下拖板

它是使工件进行 Y 方向移动的主要部件，是机床的重要组成部分之一。下拖板负责工件 Y 方向的运动、碰数等。

(5) 上、下丝架

它是钼丝做定距、拉丝调节的主要组成部分，是钼丝能否按要求来切割的主要控制组件之一。

(6) 走丝溜板

数控电火花线切割机床在工作时，要不断地进行钼丝循环运动

的过程,则钼丝就要不断地进行滚动收回、放出的动作,也就是说要让钼丝筒做来回不停的左右移位,用来完成这个左右移位动作的部件就是走丝溜板。

(7) 卷丝筒

数控电火花线切割机床在工作时,为了让钼丝能进行循环上下运动来切割工件,则必须要让钼丝能够收卷起来,通过收卷的正反向旋转来收放钼丝,从而达到连续切割的目的。这个就是卷丝筒。卷丝筒连接在电机上,电机旋转的正反向是通过控制柜提供电力并给予控制的。

(8) 立柱支架

立柱支架用来调节上丝架升降。通过丝架的升降可以调节线切割Z方向的距离,即当工件较厚时,必须把上丝架升起来,否则厚的工件是放不进去的,这也是判定线切割机最大切割厚度的主要依据。通常上丝架的升降是由人工转动手轮来完成并锁紧。

(9) 锥度调节器

这是数控电火花线切割机的主要附加功能,通常下丝架是不动的,而调节锥度调节器,可以让上丝架固定导轮做进出移动,使上丝架与下丝架不对齐,形成了角度,则此时切割出来的制品是呈锥度(或斜度)状的。一般机床只允许调节到 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 的斜向切割。特殊要求的机床,可以切割更大锥度的工件。

1.1.2 数控电火花线切割加工原理

从图1-2上可以知道,电火花线切割加工的基本原理是用可以前后左右移动的钼丝作为电极对工件进行脉冲火花放电切割成形的。在切割时,脉冲电源一端接在钼丝上,是通过电刷连接的,另一端接在工件上。工件用绝缘板隔开并固定在工作台上,通过上、下拖板可以做前后左右运动,上、下拖板的运动路径(即运动轨迹)是用编程控制系统控制的。钼丝穿过工件并通过上、下导向轮并排卷在卷丝筒上,形成一个封闭循环。卷丝筒体与电动机连接,而电动机受控制系统的控制做反复的正反向转动,卷在卷丝筒上的钼丝即被带动做上下往复走丝运动。解决了钼丝上下运动的问题,这样连续不断的工作即可完成线切割的加工。

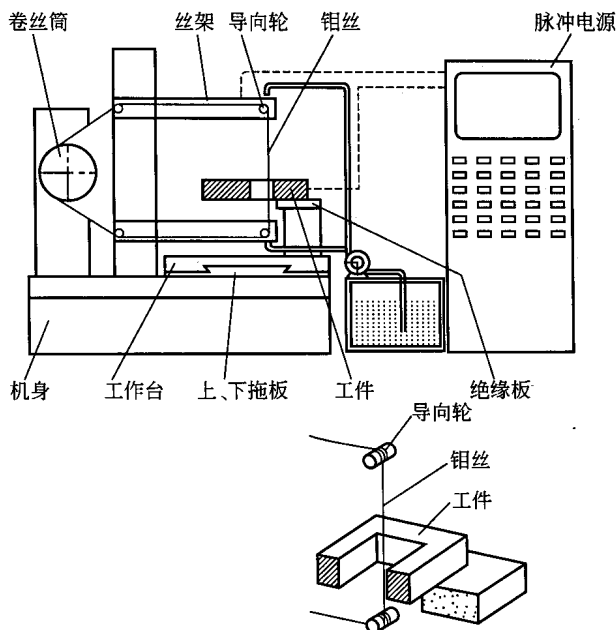


图 1-2 数控电火花线切割加工原理图

由上述数控电火花线切割加工原理可以总结出线切割加工过程主要包含下列 3 部分内容。

(1) 数控电火花线切割加工时电极丝和工件之间的脉冲放电

数控电火花线切割时电极丝接脉冲电源的负极，工件接脉冲电源的正极，在正负极之间加上脉冲电源。当来一个电脉冲时，在电极丝和工件之间产生一次火花放电，在放电通道的中心，温度瞬时可高达 10000°C 以上，高温使工件金属熔化，甚至有少量汽化，高温也使电极丝和工件之间的工作液部分产生汽化，这些汽化后的工作液和金属蒸气瞬间迅速热膨胀，并具有爆炸的特性。这种热膨胀和局部微爆炸将熔化和汽化了的金属材料抛出而实现对工件材料进行电蚀切割加工。通常认为电极丝与工件之间的放电间隙在 0.01mm 左右，若电脉冲的电压高，放电间隙会大一些。

为了电火花加工的顺利进行，必须创造条件保证每来一个电脉

冲时在电极丝和工件之间产生的是火花放电，而不是电弧放电。首先必须使两个电脉冲之间有足够的时间间隔，使放电间隙中的介质消电离，即使放电通道中的带电粒子复合为中性粒子，恢复本次放电通道处间隙中介质的绝缘强度，以免总在同一处发生放电而导致电弧放电。一般脉冲间隔应为脉冲宽度的 4 倍以上。

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工作液，以便电极丝得到充分冷却。同时电极丝必须做高速轴向运动，以避免火花放电总在电极丝的局部位置而被烧断，电极丝速度为 $7 \sim 10 \text{m/s}$ 。高速运动的电极丝还有利于不断往放电间隙中带入新的工作液，同时也有利于把电蚀产物从间隙中带出去。

数控电火花线切割加工时，为了获得比较好的表面粗糙度和高的尺寸精度，并保证电极丝不被烧断，应选择好相应的脉冲参数，并使工件和钼丝之间的放电必须是火花放电，而不是电弧放电。

(2) 数控电火花线切割加工的走丝运动

为了避免火花放电总在电极丝的局部位置而被烧断，影响加工质量和生产效率，在加工过程中电极丝沿轴向做走丝运动。走丝原理如图 1-3 所示。钼丝整齐地缠绕在贮丝筒上，并形成一闭合状态，走丝电动机带动贮丝筒转动时，通过导丝轮使钼丝做轴线运动。

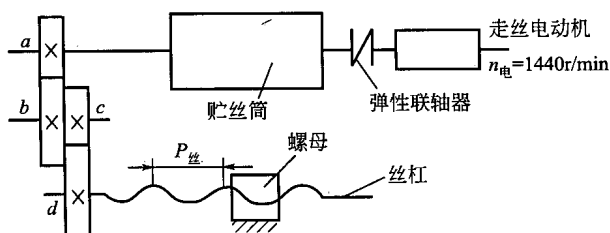


图 1-3 走丝机构原理图

(3) X、Y 坐标工作台运动

工件安装在上下两层的 X、Y 坐标工作台上，分别由步进电动机驱动做数控运动，如图 1-4 所示。工件相对于电极丝的运动轨迹是由线切割编程所决定的。

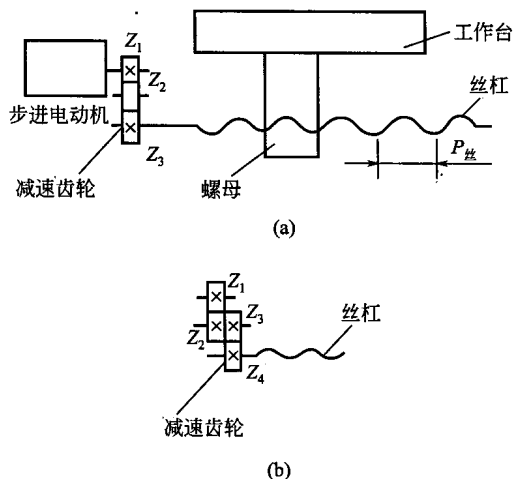


图 1-4 上层工作台的传动示意

1.2 数控电火花线切割机床分类

(1) 按电极丝的运行速度分类

根据电极丝的运行速度不同，数控电火花线切割机床通常分为两类。

① 一类是快走丝数控电火花线切割机床 (HSWEDM)，其电极丝做高速往复运动，一般走丝速度为 $8 \sim 10 \text{m/s}$ ，电极丝可重复使用，但快走丝容易造成电极丝抖动和反向时停顿，使加工质量下降，是我国生产和使用的主要机种，也是我国独创的数控电火花线切割加工模式。

② 另一类是慢走丝数控电火花线切割机床 (LSWEDM)，其电极丝做低速单向运动，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，是国外生产和使用的主要机种。

数控快、慢走丝线切割机床在机床方面的主要区别见表 1-1。

表 1-1 数控快、慢走丝线切割机床的主要区别

比 较 项 目	数控快走丝线切割机床	数控慢走丝线切割机床
走丝速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	常用值 8~10	常用值 0.001~0.25
电极丝工作状态	往复供丝,反复使用	单向运行,一次性使用
电极丝材料	钼、钨钼合金	黄铜、铜、以铜为主体的合金或镀覆材料、钼丝
电极丝直径/mm	0.03 ~ 0.25, 常用值 0.12~0.20	0.003 ~ 0.30, 常用值 0.20
工作电极丝长度/m	200 左右	数千
穿丝方式	只能手工	可手工,可自动
电极丝振动	较大	较小
运丝系统结构	简单	复杂
脉冲电源	开路电压 80~100V, 工 作电流 1~5A	开路电压 300V 左右, 工 作电流 1~32A
单面放电间隙/mm	0.01~0.03	0.01~0.12
工作液	线切割乳化液或水基工 作液等	去离子水,有的场合用煤 油
工作液电阻率/ $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$	0.5~50	10~100
导丝机构形式	导轮,寿命较短	导向器,寿命较长
机床价格	便宜	昂贵

数控快、慢走丝线切割机床加工工艺水平方面的比较见表 1-2。

表 1-2 数控快、慢走丝线切割机床的加工工艺水平比较

比 较 项 目	数控快走丝线切割机床	数控慢走丝线切割机床
切割速度/ $\text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$	20~160	20~240
加工精度/mm	0.01~0.04	0.004~0.01
表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	1.6~3.2	0.1~1.6
重复定位精度/mm	0.02	0.004
电极丝损耗	均布于参与工作的电极丝全长	不计
最大切割厚度/mm	钢:500 铜:610	400
最小切缝宽度/mm	0.04~0.09	0.0045~0.014

(2) 按对电极丝运动轨迹的控制形式分类

根据对电极丝运动轨迹的控制形式不同, 数控电火花线切割机床又可分为三种。

① 靠模仿形控制, 其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做轨迹移动, 从而切割出与靠模形状和精度相同的工件来。

② 光电跟踪控制, 其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做相似形状的运动, 从而切割出与图样形状相同的工件来。

③ 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 95% 以上的数控电火花线切割机床都已采用数控化。

(3) 按电源形式分类

按电源形式可分为 RC 电源、晶体管电源、分组脉冲电源及自适应控制电源等。

(4) 按加工特点分类

按加工特点可分为大、中、小型以及普通直壁切割型与锥度切割型等。

1.3 数控电火花线切割的加工对象

数控电火花线切割加工为新产品试制、精密零件加工及模具制造开辟了一条新的工艺途径, 主要适用于以下几个方面。

(1) 加工模具

适用于加工各种形状的冲模。调整不同的间隙补偿量, 只需一次编程就可以切割凸模、凸模固定板、凹模及卸料板等。模具配合间隙、加

工精度通常都能达到要求。此外,还可加工挤压模、粉末冶金模、弯曲模、塑压模等通常带锥度的模具。线切割用于加工模具可总结如下。

① 电机行业 电动机的定转子冲片、电气柜和仪表机箱的冲孔、折弯模。

② 电子仪表零件 开关、指针、接插件的冲孔、落料、切口、折弯模具和塑料模。

③ 家电行业 电视机、冰箱、洗衣机的注塑模。

④ 建材行业 铝型材挤压模。

⑤ 粉末冶金 硬质合金压铸模。

⑥ 轻工产品 缝纫机、自行车零件模具。

⑦ 广告美工 不锈钢割字、面板加工。

⑧ 玩具制造 外形落料、冲孔、成形模。

⑨ 眼镜制造 镜框、挂脚下料、成形模。

⑩ 液压气动元件压铸模。

(2) 加工电火花成型加工用的电极

一般穿孔加工用的电极以及带锥度型腔加工用的电极以及铜钨、银钨合金之类的电极材料用线切割加工特别经济,同时也适用于加工微细复杂形状的电极。

(3) 加工零件

在试制新产品时,用线切割在坯料上直接割出零件,例如试制切割特殊微电机硅钢片定、转子铁芯,由于不需另行制造模具,可大大缩短制造周期,降低成本。另外修改设计,变更加工程序比较方便,加工薄件时还可多片叠在一起加工。在零件制造方面,可用于加工品种多、数量少的零件,特殊难加工材料的零件、材料试验样件、各种型孔、特殊齿轮凸轮、样板、成形刀具。同时还可进行微细加工,异形槽和人工标准缺陷的窄缝加工等。

1.4 数控电火花线切割加工工艺指标及其影响因素

1.4.1 数控电火花线切割加工主要工艺指标

(1) 切割速度 v_{wi}