



国家级职业教育规划教材

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

高等职业技术学院数控技术 / 模具设计与制造专业

特种加工技术

TEZHONG JIAGONG JISHU



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业

特种加工技术

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

简介

本书主要包括快速走丝电火花线切割加工、慢速走丝电火花线切割加工、电火花成型加工、电火花小孔加工、CNC 雕刻加工、快速成型技术、电切削工职业技能鉴定应会模拟试题。

本书由申如意主编，王震宇、赵钱、姜利参加编写；宋军民审稿。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术/申如意主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2014

高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业

ISBN 978-7-5167-1157-6

I. ①特… II. ①申 III. ①特种加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 126303 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

*

北京谊兴印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 406 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定价：31.00 元

读者服务部电话：(010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话：(010) 64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错，请与本社联系调换：(010) 80497374

我社将与版权执法机关配合，大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动，敬请广大读者协助举报，经查实将给予举报者奖励。

举报电话：(010) 64954652

目 录

第一章 快速走丝电火花线切割加工	(1)
第一节 电火花加工技术	(1)
第二节 电火花线切割加工技术	(7)
第三节 快速走丝电火花线切割机床	(13)
第四节 快速走丝电火花线切割加工工艺	(17)
第五节 快速走丝电火花线切割加工的操作流程	(24)
第六节 快速走丝电火花线切割机床的维护保养	(28)
第七节 简单零件的手工编程	(32)
第八节 角度样板加工	(38)
第九节 配合件加工	(47)
第十节 典型冷冲压模具零件的加工	(53)
思考与练习	(58)
第二章 慢速走丝电火花线切割加工	(61)
第一节 慢速走丝电火花线切割加工机床	(61)
第二节 慢速走丝电火花线切割加工工艺	(71)
第三节 慢速走丝电火花线切割加工机床的维护保养	(75)
第四节 恒锥度加工	(83)
第五节 变锥度加工	(89)
第六节 齿轮加工	(94)
思考与练习	(98)
第三章 电火花成型加工	(99)
第一节 电火花成型加工机床	(99)
第二节 电火花成型加工工艺	(105)
第三节 电火花成型加工机床的维护保养	(117)
第四节 单孔的电火花成型加工	(120)
第五节 多孔的电火花加工	(127)

第六节 冲模的加工	(135)
第七节 斜孔的电火花加工	(138)
思考与练习	(140)
第四章 电火花小孔加工	(141)
第一节 电火花小孔机加工概论	(141)
第二节 电火花小孔机的维护保养	(144)
第三节 单点加工	(148)
第四节 定位移动加工	(155)
第五节 多孔自动加工	(159)
思考与练习	(165)
第五章 CNC 雕刻加工	(166)
第一节 高速雕刻加工概论	(166)
第二节 刃磨雕刻加工中的锥度刀具	(171)
第三节 定位槽零件的雕刻加工	(180)
第四节 系徽纪念品的雕刻加工	(189)
第五节 表盖模具的雕刻加工	(201)
第六节 CNC 雕刻机的维护保养	(209)
思考与练习	(213)
第六章 快速成型技术	(217)
第一节 快速成型技术概论	(217)
第二节 快速成型设备	(223)
第三节 三维打印机的安全操作与维护保养	(228)
第四节 三维打印水车模型	(231)
思考与练习	(237)
第七章 电切削工职业技能鉴定应会模拟试题	(238)
中级电切削工应会——线切割加工试题	(239)
中级电切削工应会——电火花成型加工试题	(246)
高级电切削工应会——线切割加工试题	(253)
高级电切削工应会——电火花成型加工试题	(260)
附录一 练习图集	(267)
附录二 电火花小孔加工工艺参数表	(281)

第一章

快速走丝电火花线切割加工

第一节 电火花加工技术

在日常生活中,当电气开关开、合时,有时会出现伴随着噼噼啪啪响声的蓝白色火花,使开关的接触恶化。20 世纪四十年代,前苏联科学院院士拉扎连柯夫妇率先对这种现象进行了深入研究,产生了一种新的金属去除方法——电火花加工。电火花加工是与机械加工完全不同的一种加工工艺方法,要正确运用电火花加工技术就必须明确电火花加工的原理和条件,从而正确地运用在金属的生产和加工中。

一、电火花加工的物理本质

电火花加工是通过工件和工具电极相互靠近时极间形成脉冲性火花放电,在电火花通道中产生瞬时高温,使金属局部熔化,甚至气化,从而将金属腐蚀下来,达到按要求改变材料形状和尺寸的加工工艺。加工示意图如图 1—1 所示。

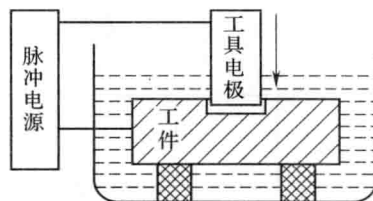


图 1—1 电火花加工示意图

1. 电火花加工的物理本质概述

一个物体无论从宏观上看多么平整,但在微观上其表面总是凹凸不平的,即由无数个高峰和凹谷组成。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,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。这样以很高的频率连续不断地反复放电,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,如图 1—2 所示。

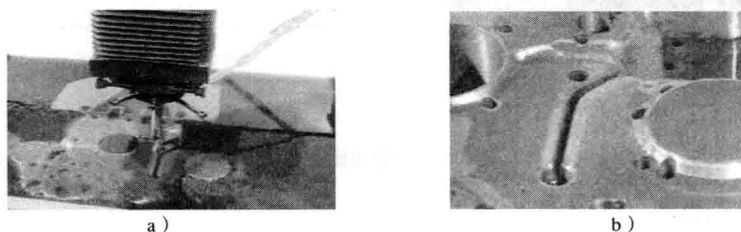


图 1—2 电火花加工

a) 电火花型腔加工 b) 加工完成的型腔零件

2. 单个脉冲的放电过程

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、能量转换和传递、电蚀产物抛出三个连续的过程,见表1—1。

表 1—1 单个脉冲的放电过程

序号	示意图	解 释
1		处在绝缘的液体介质中的两电极,在两极加上无负荷直流电压后,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,介质被击穿,形成放电通道
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,使两极间放电点局部熔化或气化 1000℃以上
4		在热爆炸力、电力、流体动力等综合因素的作用下,被熔化或气化的材料被抛出,产生一个小坑
5		脉冲放电结束,两极间介质恢复绝缘,形成下一个加工周期

二、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 ~ 300 V 的脉冲电压, 同时还需要维持合理的距离——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, 会导致积碳, 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. 输送到两极间的脉冲能量应足够大, 即放电通道要有很大的电流密度。
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。

三、电火花加工的两个重要效应

1. 极性效应

电火花加工时, 两极材料的被腐蚀量是不相同的, 这种现象叫作极性效应。在生产中, 通常将工件接脉冲电源正极 (工具电极接负极) 称为正极性接法 (图 1—3a 所示电火花成型加工为正极性接法)。将工件接脉冲电源负极 (工具电极接正极) 称为负极性接法 (图 1—3b 所示电火花线切割加工为负极性接法)。

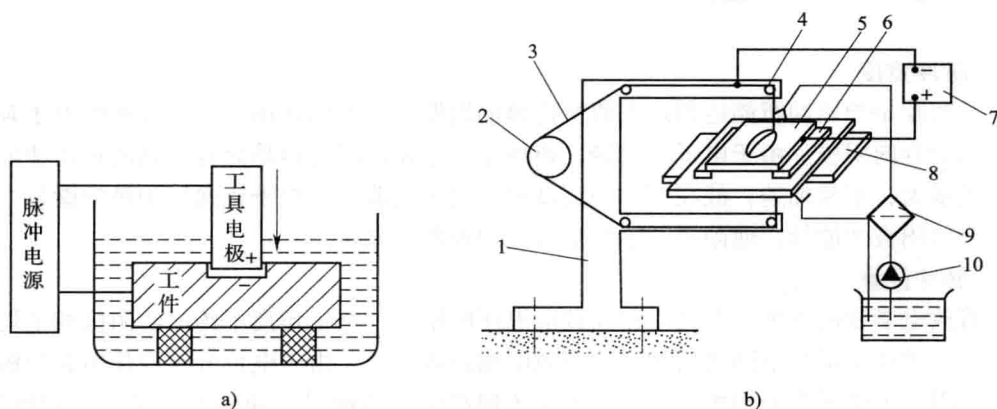


图 1—3 极性效应

a) 电火花成型加工 b) 电火花线切割加工

1—支架 2—储丝筒 3—电极丝 4—导轮 5—工件
6—绝缘板 7—脉冲电源 8—工作台 9—过滤器 10—工作液泵

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。

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,这种现象叫作覆盖效应。表1—2所示为覆盖效应的生成条件和影响因素。

表 1—2

覆盖效应的生成条件和影响因素

图片	覆盖效应生成条件	影响覆盖效应的主要因素
	1. 要有足够高的温度,以使碳粒子烧结成石墨化的耐蚀层	1. 脉冲能量与波形的影响,采用某些组合脉冲,有助于覆盖层的产生
	2. 要有足够多的电蚀产物	2. 材料组合的影响
	3. 要有足够多的时间形成碳素层	3. 工艺条件的影响
	4. 必须在油类介质中加工	4. 工作介质的影响。用油液类工作液在放电产生的高温下作业,有助于碳素层的生成
	5. 采用阳极性加工,因为碳素层易在阳极表面生成	

合理利用覆盖效应,有利于降低电极的损耗,甚至可做到“无损耗”加工。但若处理不当,出现过覆盖现象,将会使电极尺寸在加工后超过了加工前的尺寸,反而破坏了加工精度。

四、电火花加工工艺指标

1. 脉冲宽度

脉冲宽度是指脉冲所能达到最大值所持续的周期。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阴极的能量,使阳极的蚀除量大于阴极的蚀除量。

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。

3. 表面粗糙度

表面粗糙度是指加工表面的微观几何形状误差,对电火花加工表面来讲,即为加工表面放电痕坑穴的聚集。由于坑穴表面会形成一个加工硬化层,能存润滑油,其耐磨性比同样表

面粗糙度的机加工表面要好，所以加工表面的表面粗糙度允许比要求的表面粗糙度大些；而且在相同表面粗糙度的情况下，电火花加工表面要比机加工表面亮度低。

表面粗糙度是衡量电火花加工质量的一个重要指标。国家标准规定用两个指标来评定表面粗糙度：轮廓算术平均偏差 Ra 和轮廓的最大高度 Rz 。 Ra 表示在一个取样长度内，轮廓的算术平均偏差，如图 1—4 所示。在实际生产中多用 Ra 指标，其单位为 μm 。



图 1—4 轮廓算术平均偏差 Ra

工件的电火花加工表面粗糙度直接影响其使用性能，如耐磨性、配合性、接触刚度、疲劳强度和抗腐蚀性等。尤其对于高速、高洁、高压条件下工作的模具和零件，其表面粗糙度往往是决定其使用性能和使用寿命的关键。

工件的电火花加工表面粗糙度可以通过检测仪来进行测量。

表面粗糙度与加工速度是一对矛盾的加工指标，要获得高的加工速度则表面粗糙度值大；而要获得较小的表面粗糙度值，则加工速度很低。影响表面粗糙度的主要因素见表 1—3。

表 1—3 影响表面粗糙度的主要因素

序号	影响因素	说 明
1	脉冲宽度	脉冲宽度越大，表面越粗糙
2	峰值电流	电流越大，表面粗糙度值越大
3	电极表面质量	电极的表面粗糙度会复制到工件的表面，因此要求电极的表面粗糙度值要低
4	工件材料	用同样的电加工参数加工熔点高的材料，蚀出的凹坑小且浅
5	电极材料	电极材料本身组织结构越好，加工工件就越容易获得低的表面粗糙度值
6	加工面积	加工面积越大，选取的电参数越大，加工表面粗糙度值越大

4. 放电间隙

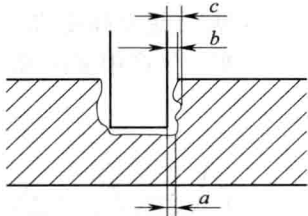
放电间隙是指脉冲放电两极间隙，实际效果反映在加工后工件尺寸的单侧扩大量。对电火花加工放电间隙的定量认识是确定加工方案的基础，其中包括电极形状、尺寸设计、加工工艺步骤设计、加工规准的切换，以及相应工艺措施的设计。

(1) 放电间隙的种类

放电间隙分为三种，见表 1—4。

表 1—4

放电加工间隙的种类

序号	放电加工间隙的种类	图片	说明
1	出口间隙 (a)		由加工中工件与电极间的直接放电, 两极蒸发和熔化部分飞散造成
2	入口间隙 (b)		在产生放电间隙的基础上, 增加了二次放电而产生
3	最大侧间隙 (c)		排屑时工作液中的离子反复碰撞冲击引起重复二次放电而产生

(2) 影响放电间隙的因素

1) 电参数的影响

脉冲空载电压越高, 放电间隙越大; 脉冲宽度越大, 放电间隙越大; 峰值电流越大, 放电间隙越大。

2) 非电参数的影响

①加工中的二次放电将造成侧壁尺寸扩大。加工中应采取措施尽可能减少二次放电的机会, 如使用合适的冲抽油方式等。

②在加工过程中, 由于电极的应力变形或机床系统刚度差而引起的振动, 将加大放电间隙, 进而影响工件的尺寸精度和仿形精度。

③工件的物理性能不同将产生不同的放电间隙, 如加工硬质合金, 其放电间隙就比加工一般钢件小得多。

④在电火花成型加工中, 侧壁的斜度是不可避免的。对于需要一定斜度的模具, 电火花加工过程中自然形成的斜度是有益的, 但对加工高精度直壁模具, 加工斜度应予以控制。

五、电火花加工的特点及应用范围

1. 电火花加工的特点

与常规的金属加工相比较, 电火花加工的特点见表 1—5。

表 1—5

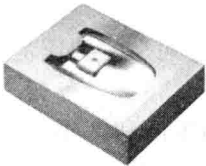
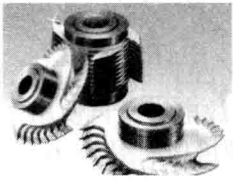
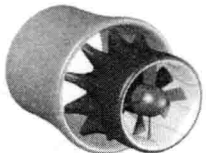
电火花加工的特点

序号	优 点	缺 点
1	可以加工难以用金属切削方法加工的零件, 不受材料硬度影响	电火花加工只适用于导电材料的工件
2	没有机械切削力, 工具电极可以做得十分细微, 能进行细微加工和复杂型面加工	加工效率一般较慢
3	脉冲电源参数较机械量易于数字控制、适应控制、便于实现自动化和无人化操作	存在电极损耗
4	可连续进行粗、半精和精加工	加工表面有变质层, 需要去除

2. 电火花加工的应用范围

电火花加工是与机械加工完全不同的一种加工工艺方法。由于电火花加工在生产应用中显示出很多优异性能,加上数控水平和工艺技术的不断提高,其应用领域日益扩大,已在模具制造、航空、航天、电子、核能、仪器、轻工等行业用来解决各种难加工材料的复杂形状零件的加工问题。加工范围可从几微米的孔、槽到几米大的超大型模具和零件。电火花加工的具体应用范围见表 1—6。

表 1—6 电火花加工的应用范围

序号	名称	图片	应用范围
1	加工模具		塑料模、锻模、拉伸模、压铸模、冲模、挤压模、玻璃模等
2	制造行业		加工各种成形刀具、样板、工具、量具、螺纹等成型零件
3	航空业		喷气发动机的涡轮叶片材料为耐热合金,采用电火花加工是合适的工艺方法
4	精密加工		化纤异型喷丝孔、发动机喷油嘴、激光器件、人工标准缺陷的窄缝加工

第二节 电火花线切割加工技术

电火花线切割机 (EDW) 是一种应用较广泛的电火花加工机床,是一种直接利用电能和热能进行加工的机床。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。特别是随着模具生产量的增加而被广泛应用，已成为切削加工的重要补充。

线切割机床加工时用一根运动着的金属线（电极丝）作为工具电极与工件之间产生火花放电来对工件进行切割，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数控技术控制，所以又称为数控电火花线切割加工，简称为数控线切割加工。

一、电火花线切割机床分类

1. 按电极丝的运行速度分类

电火花线切割机床按电极丝运行的速度，可分为快速走丝和慢速走丝两种类型的电火花线切割机床。

（1）快速走丝电火花线切割机床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。其电极丝做快速往复运动，一般走丝速度为 $8 \sim 10 \text{ m/s}$ ，电极丝可重复使用，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，快速走丝电火花线切割机床走丝机构如图 1—5 所示。

（2）慢速走丝电火花线切割机床是国外生产和使用的主要机种。其电极丝做慢速单向运动，一般走丝速度低于 0.2 m/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。慢走丝电火花线切割机床走丝机构如图 1—6 所示。

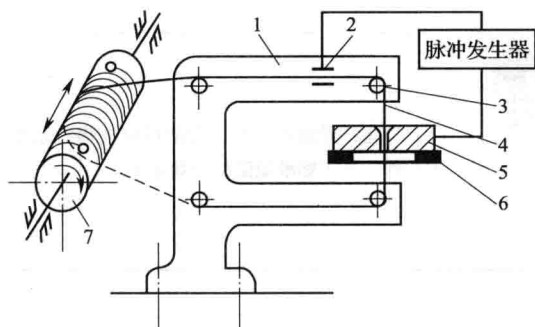


图 1—5 快速走丝电火花线切割机床走丝机构

1—丝架 2—导电器 3—导轮 4—电极丝
5、6—工作台 7—储丝筒

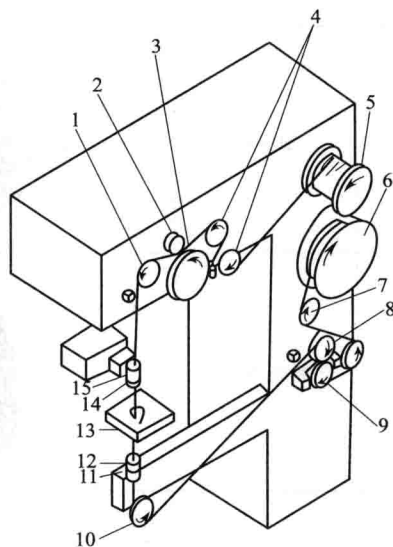


图 1—6 慢速走丝电火花线切割机床走丝机构

1、4、10—滑轮 2、9—压紧轮 3—制动轮
5—供丝筒 6—卷丝筒 7—导向轮 8—卷丝滚轮
11、15—导电器 12、13—金刚石导向器 14—工件

两者的特点对比见表 1—7。

表 1—7 快走丝与慢走丝电火花线切割比较

电火花线切割机床类型	快走丝	慢走丝
电极丝运行速度	300 ~ 700 m/min	0.5 ~ 15 m/min
电极丝运动形式	双向往复运动	单向运动
常用电极丝材料	钼丝 ($\phi 0.1 \sim 0.2$ mm)	铜、钨、钼及各种合金 ($\phi 0.1 \sim 0.35$ mm)
工作液	乳化液或皂化液	去离子水、煤油
尺寸精度	0.015 ~ 0.02 mm	± 0.001 mm
表面粗糙度 Ra	1.25 ~ 2.5 μm	0.16 ~ 0.8 μm
设备成本	低廉	昂贵

2. 按对电极丝运动轨迹的控制形式分类

(1) 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。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,样板也无须绘制放大图,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技术。

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。

二、电火花线切割机床的型号

我国电火花线切割机床的型号以 DK77□□表示,如 DK7725E 的含义如下:

D——机床类型代号

K——机床特性代号(数控)

7——组别代号(电火花加工机床)

7——型别代号(7 为快速走丝,6 为慢速走丝)

25——基本参数代号,表示 X 向工作台行程为 250 mm

三、电火花线切割加工的应用范围

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。线切割加工模具的适用范围如下：

(1) 电机行业。电机的定转子冲片、电气柜和仪表机箱的冲孔、折弯模。如图 1—7 所示为电机的模具。

(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。如图 1—8 所示为普通折弯模具示意图。

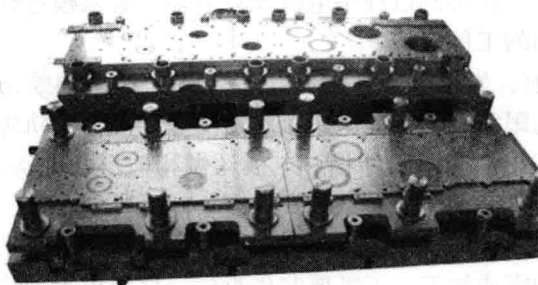


图 1—7 电机的模具

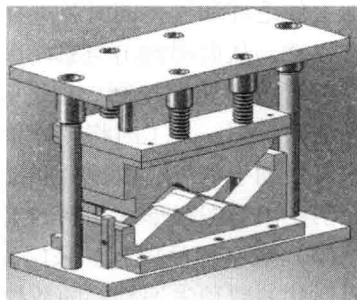


图 1—8 普通折弯模具

(3) 家电行业。电视机、冰箱、洗衣机的注塑模。图 1—9 所示为电视机模具。

(4) 建材行业。型材挤压模。图 1—10 所示为铝型材挤压模。

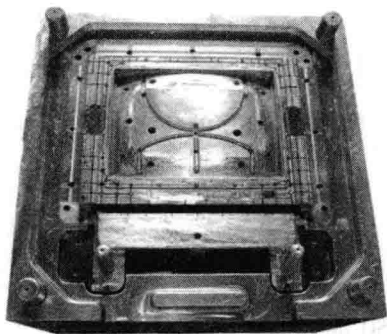


图 1—9 电视机模具



图 1—10 铝型材挤压模

- (5) 粉末冶金。硬质合金压铸模。图 1—11 所示为压铸模。
- (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。图 1—12 所示为眼镜模具。

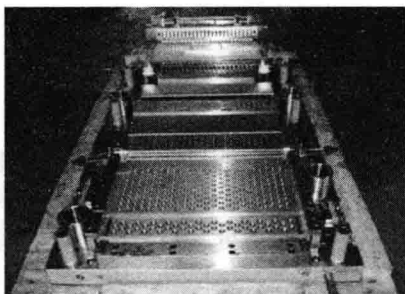


图 1—11 压铸模

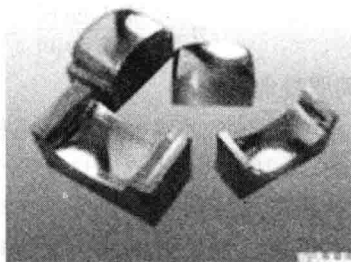


图 1—12 眼镜模具

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电火花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，图 1—13 所示为铜电极。

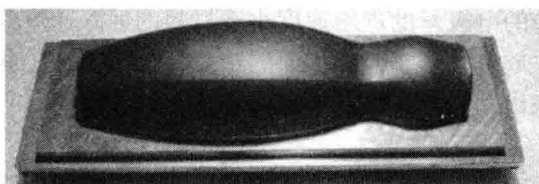


图 1—13 铜电极

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，由于不需要另外制造模具，可大大缩短制造周期，降低成本。此外，修改设计，变更加工程序比较方便，加工薄件时还可以多片叠加在一起加工。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，图 1—14 所示为电火花线切割加工的典型零件。

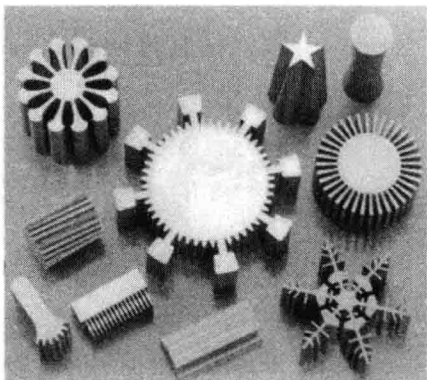


图 1—14 电火花线切割加工的典型零件

四、电火花线切割加工中的常用名词、术语

1. 加工效率 (η)

加工效率是衡量电火花线切割加工速度的一个参数,以单位时间内电极丝加工过的面积大小来衡量。

$$\eta = \frac{\text{加工面积}}{\text{加工时间}} = \frac{\text{切割长度} \times \text{工件厚度}}{\text{加工时间}} (\text{mm}^2/\text{min})$$

2. 伺服控制

电火花线切割加工过程当中,电极丝的进给速度是由材料的蚀除速度和极间放电状况的好坏决定的。伺服控制系统能自动调节电极丝的进给速度,使电极丝根据工件的蚀除速度和极间放电状态进给或后退,保证加工顺利进行。电极丝的进给速度与材料的蚀除速度一致时的加工状态最好,加工效率和表面粗糙度均较好。

3. 短路

电火花线切割加工中的电极丝的进给速度大于材料的蚀除速度,致使电极丝与工件接触,不能正常放电,称为短路。它使放电加工不能连续进行,严重时还会在工件表面留下明显条纹。短路发生后,伺服控制系统会做出判断并让电极丝沿原路回退,以形成放电间隙,保证加工顺利进行。

4. 开路

电火花线切割加工中的电极丝的进给速度小于材料的蚀除速度称为开路。开路不但影响加工速度,还会形成二次放电,影响已加工面的精度,也会使加工状态变得不稳定。开路状态可从加工电流表上反映出,即加工电流间断性回落。

5. 锥度

电火花线切割加工中的电极丝在进行二维切割平面内运动的同时,还能按一定的规律进行偏摆,形成一定的倾斜角,加工出带锥度的工件或上、下形状不同的异形件。这就是所谓的四轴联动、锥度加工,如图1—15所示。

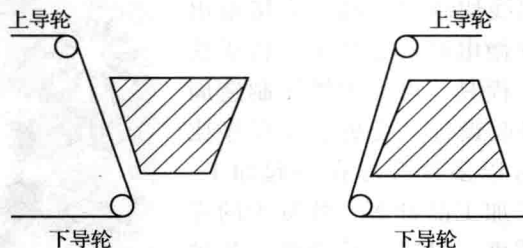


图1—15 锥度加工示意图

实际加工过程中,当加工方向确定时,电极丝的倾斜方向不同,加工出的工件锥度方向也就不同,反映在工件上就是上大或是下大。锥度也有左锥、右锥之分,依电极丝的前进方向,电极丝向左倾斜即为左锥,向右倾斜即为右锥。