

高职高专机电类
工学结合模式教材

特种加工技术

程胜文 刘红芳 主 编
胡翔云 冯 琴 副主编

清华大学出版社



高职高专机电类
工学结合模式教材

特种加工技术

程胜文 刘红芳 主 编
胡翔云 冯 琴 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为4个知识点,包括电火花加工、线切割加工、激光加工和快速成形加工。每个知识点分为3章:首先介绍该知识点理论部分,使读者奠定扎实的基础;其次介绍该类典型机床的具体操作方法,帮助读者掌握如何操作机床;最后精选典型实例,采用教—学—做—评同步进行的模式开展项目教学,提升读者综合处理各种具体问题的能力,同时注重培养学生的学习态度。

本书以各类典型机床为前提,结合大量企业生产实践经验选择项目进行剖析,具有广泛代表性,取材新颖,理论与实践紧密结合,重点在于应用,具有很强的指导性和实用性。

本书内容实用,可作为高职高专、中职中专模具、数控技术、机械等专业的教学用书,也可作为机械制造行业的工程技术人员、技术工人的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术 / 程胜文,刘红芳主编. —北京:清华大学出版社,2012.1

(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-27456-8

I. ①特… II. ①程… ②刘… 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(2011)第249554号

责任编辑:贺志洪

责任校对:李 梅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:11.25

字 数:255千字

版 次:2012年1月第1版

印 次:2012年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00元

产品编号:040161-01

特种加工技术目前已成为模具制造成形等加工技术的主力军,随着高速加工技术的快速发展,特种加工技术融合了先进的数控技术,使其在复杂加工、精密加工等领域具有不可取代的地位,拥有广阔的前景。

目前该类技能型人才严重缺乏。我国大多数特种加工机床操作人员只是经过了短期培训,缺乏系统的理论基础,只能进行简单的加工设计,严重影响了设备的使用。特种加工领域的技术工人、编程人员、工艺人员急切希望提高自己的技术水平,企业也急需培养一批能够熟练掌握特种加工机床使用的应用型人才。

但是,现有特种加工类教程仍以学科体系的教材为多,基于实际操作、工作过程同时兼顾知识点的完整性教材还很缺乏,教师们在学习行动导向的教学法中遇到很多实际困难,其中最大的难点在于重构基于工作过程而又兼顾知识点的完整性的知识体系。本书以实际的工作任务为载体,提升学生对应该掌握的相关知识与技能的重视,并以介绍电火花加工、线切割加工、激光加工、快速成形加工的顺序组织本书的内容,从中分别介绍理论基础、典型机床操作、典型实例加工,让使用本书的教师可以把主要精力放在行动导向的教学实施上,避免花大量的时间重构知识序列。

本书具有如下特点:

- (1) 知识点基于实际工作过程,利于师生实行理论—实践一体化教学。
- (2) 基于行动导向的教学实施原则安排本书内容,体现教—学—做—评的统一。
- (3) 紧贴企业生产实践,注重知识的应用,充分体现职业教育的岗位特点和要求。

本书是国家示范性高等职业院校建设成果之一。本书适用于高职高专、中职中专模具、数控技术、机械等专业实行理实一体化教学模式的教学用书;也可供机械制造行业的工程技术人员、技术工人参考使用。

本书由湖北职业技术学院程胜文、刘红芳担任主编,胡翔云、冯琴担任副主编。在编写过程中,参阅了国内外同行有关资料、文献,在此对这些编者表示衷心的感谢。

由于编者经验不足,加之水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大专家和读者指正。

编者

2011年11月



第 1 章 电火花加工基础知识	1
1.1 电火花加工的物理本质	1
1.2 电火花加工工艺	3
1.3 电火花加工机床	13
1.4 电火花加工编程	17
1.5 电火花机床的安全操作规程	18
第 2 章 典型数控电火花机床系统及其操作	20
2.1 北京阿奇 SE 系列电火花机床	20
2.2 泰州冬庆 DK77-Z 系列电火花机床	28
第 3 章 电火花加工实训	36
实训项目 1 电火花成形机床的操作	36
实训项目 2 电火花型腔模工具电极的设计	39
实训项目 3 电火花工具电极的找正	41
实训项目 4 断入工件的丝锥、钻头的电火花加工	43
实训项目 5 校徽图案的电火花加工	45
实训项目 6 热流道模具喷嘴孔锥面的电火花加工	47
实训项目 7 手机模具型腔的电火花加工	49
第 4 章 线切割加工基础知识	52
4.1 线切割加工特点	52
4.2 线切割加工机床	54
4.3 线切割加工工艺	59
4.4 线切割加工编程	60
4.5 线切割机床的安全操作规程	65
第 5 章 典型数控电火花线切割机床系统及其操作	67
5.1 FW 系列快走丝线切割机床	67
5.2 泰州冬庆 DK77-Z 电火花线切割机床	72

第 6 章 线切割加工实训	75
实训项目 1 线切割机床的操作	75
实训项目 2 线切割机床电极丝的穿丝与找正	77
实训项目 3 线切割机床的工件装夹与找正	79
实训项目 4 车刀的线切割加工	82
实训项目 5 定位盘的线切割加工	84
实训项目 6 锥度零件的线切割加工	86
实训项目 7 上下异形零件的线切割加工	88
第 7 章 激光加工基础知识	91
7.1 激光加工基础	91
7.2 激光加工基本设备及其组成部分	92
7.3 激光加工应用	92
第 8 章 典型激光加工系统	96
8.1 工作台	96
8.2 送料机构	97
8.3 激光切割	98
8.4 激光雕刻	99
8.5 激光打孔	101
第 9 章 激光加工实训	102
实训项目 1 激光加工制作文字	102
实训项目 2 激光切割薄板	103
第 10 章 快速成形基础知识	105
10.1 快速成形技术的产生背景	105
10.2 快速成形技术的基本原理	106
10.3 快速成形的特点	107
10.4 快速成形的经济效益	107
10.5 快速成形技术的分类	107
10.6 常用的快速成形方法	108
第 11 章 快速成形设备	110
11.1 FDM 简介	110
11.2 FDM 设备操作	113

第 12 章 快速成形加工实训	117
实训项目 电话机外壳的快速成形	117
附录 A 电火花加工实训表格	119
附录 B 线切割加工实训表格	141
附录 C 激光加工实训表格	162
附录 D 快速成形加工实训表格	168
参考文献	171

电火花加工基础知识

电火花加工又称为放电加工(简称 EDM),也称仿形加工,还有称脉冲放电加工的,它是一种直接利用电能和热能进行加工的工艺方法。在加工中,靠工具电极和工件电极之间的脉冲性火花放电来蚀除多余的材料。由于加工过程可以看到火花,因此被称为电火花加工。

1.1 电火花加工的物理本质

电火花加工基于电火花腐蚀原理,是在工具电极与工件电极相互靠近时,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,从而将金属蚀除下来。那么两电极表面的金属材料是如何被蚀除下来的呢?这一过程大致分为以下几个阶段(见图 1-1)。

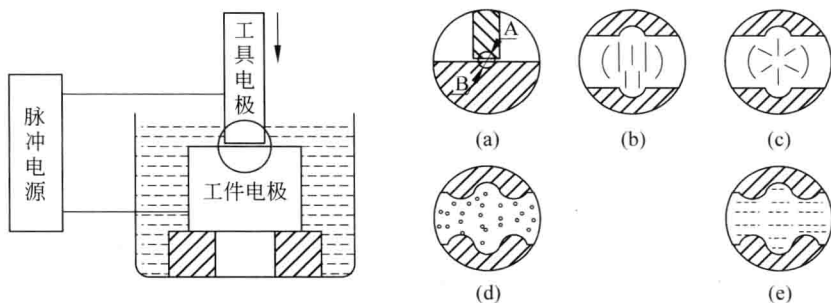


图 1-1 电火花加工原理图

1.1.1 极间介质的电离、击穿,形成放电通道

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

(见图 1-1(a))。

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。

1.1.2 电极材料的熔化、气化热膨胀

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,进而气化,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气化。气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(见图 1-1(b)、(c))。

1.1.3 电极材料的抛出

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,工作液和金属气化后不断向外膨胀,形成内外瞬间压力差,高压力的处熔融金属液体和蒸汽被排挤,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(见图 1-1(d))。

1.1.4 极间介质的消电离

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(见图 1-1(e))。

上述步骤(1.1.1~1.1.4 小节)在一秒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(见图 1-2)。所以电火花加工是大量的微小放电痕迹

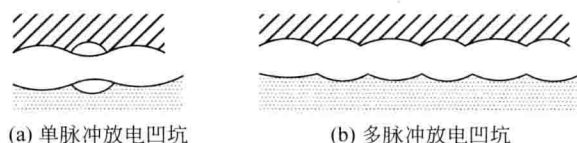


图 1-2 电火花表面局部放大图

逐渐累积而成的去除金属的加工方式。

1.2 电火花加工工艺

电火花加工主要有两种类型：穿孔加工和型腔加工。下面就这两种加工类型分析其加工工艺。

1.2.1 穿孔加工工艺

电火花穿孔加工一般应用于冲裁模具加工、粉末冶金模具加工、拉丝模具加工、螺纹加工等。其中,冲模是电火花加工中加工最多的一种模具。本节以加工冲裁模具的凹模为例说明电火花穿孔加工的方法。

1. 冲模电火花加工工艺方法

凹模的尺寸精度主要靠工具电极来保证,因此,对工具电极的精度和表面粗糙度都应有一定的要求。如凹模的尺寸为 L_2 ,工具电极相应的尺寸为 L_1 (见图 1-3),单边火花间隙值为 S_L ,则凹模的尺寸 L_2 计算公式为:

$$L_2 = L_1 + 2S_L$$

其中,单边火花间隙值 S_L 主要取决于脉冲参数与机床的精度。只要加工规准选择恰当,加工稳定,单边火花间隙值 S_L 的波动范围会很小。因此,只要工具电极的尺寸精确,用它加工出的凹模的尺寸也是比较精确的。

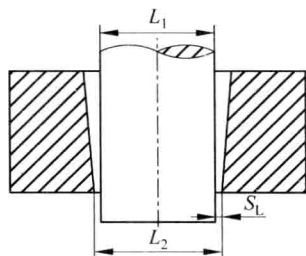


图 1-3 凹模的电火花加工

用电火花穿孔加工凹模有较多的工艺方法,在实际中应根据加工对象、技术要求等因素灵活地选择。穿孔加工的具体方法简介如下。

(1) 间接法

间接法是指在模具电火花加工中,凸模与加工凹模用的电极分开制造,首先根据凹模尺寸设计电极,然后制造电极,进行凹模加工,再根据间隙要求来配制凸模。图 1-4 所示为间接法加工凹模的过程。

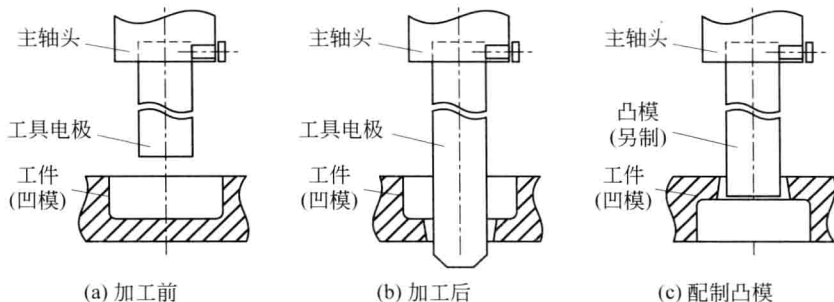


图 1-4 间接法

间接法的优点是:

- ① 可以自由选择电极材料,电加工性能好。

② 因为凸模是根据凹模另外进行配制的,所以凸模和凹模的配合间隙与放电间隙无关。

间接法的缺点是:电极与凸模分开制造,配合间隙难以保证均匀。

(2) 直接法

直接法适合于加工冲模,是指将凸模长度适当增加,先作为电极加工凹模,然后将端部损耗的部分去除直接成为凸模(具体过程如图 1-5 所示)。直接法加工的凹模与凸模的配合间隙靠调节脉冲参数、控制火花放电间隙来保证。

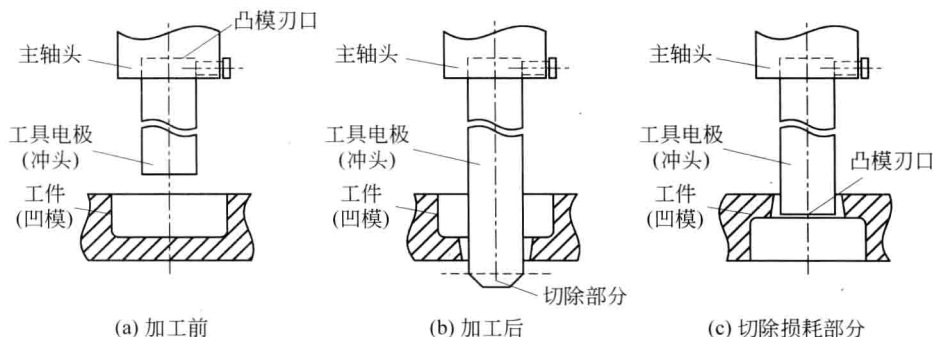


图 1-5 直接法

直接法的优点是:

- ① 可以获得均匀的配合间隙、模具质量高。
- ② 无须另外制作电极。
- ③ 无须修配工作,生产率较高。

直接法的缺点是:

① 电极材料不能自由选择,工具电极和工件都是磁性材料,易产生磁性,电蚀下来的金属屑可能被吸附在电极放电间隙的磁场中而形成不稳定的二次放电,使加工过程很不稳定,故电火花加工性能较差。

② 电极和冲头连在一起,尺寸较长,磨削时较困难。

(3) 混合法

混合法也适用于加工冲模,是指将电火花加工性能良好的电极材料与冲头材料黏结在一起,共同用线切割或磨削成形,然后用电火花性能好的一端作为加工端,将工件反置固定,用“反打正用”的方法实行加工。这种方法不仅可以充分发挥加工端材料好的电火花加工工艺性能,还可以达到与直接法相同的加工效果(见图 1-6)。

混合法的特点是:

- ① 可以自由选择电极材料,电加工性能好。
- ② 无须另外制作电极。
- ③ 无须修配工作,生产率较高。
- ④ 电极一定要黏结在冲头的非刃口端(见图 1-6)。

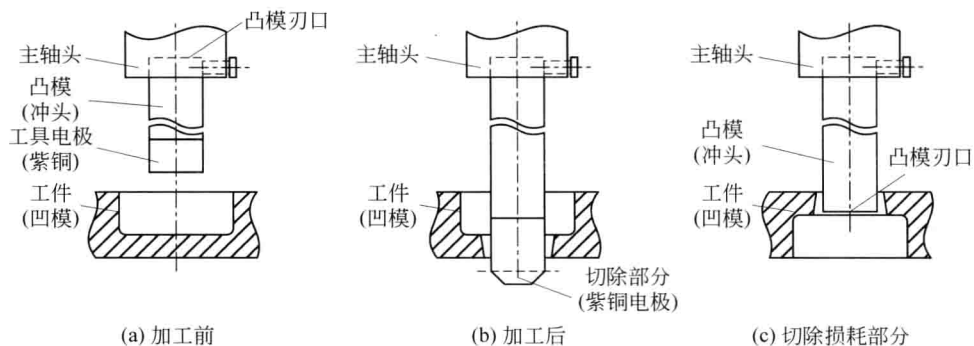


图 1-6 混合法

(4) 阶梯工具电极加工法

阶梯工具电极加工法在冷冲模具电火花成形加工中极为普遍,其应用方面有以下两种。

① 无预孔或加工余量较大时,可以将工具电极制作为阶梯状,将工具电极分为两段,即缩小了尺寸的粗加工段和保持凸模尺寸的精加工段。粗加工时,采用工具电极相对损耗小、加工速度高的电规准加工,粗加工段加工完成后只剩下较小的加工余量(见图 1-7(a))。精加工段即凸模段,可采用类似于直接法的方法进行加工,以达到凸凹模配合的技术要求(见图 1-7(b))。

② 在加工小间隙、无间隙的冷冲模具时,配合间隙小于最小的电火花加工放电间隙,用凸模作为精加工段是不能实现加工的,则可将凸模加长后,再加工或腐蚀成阶梯状,使阶梯的精加工段与凸模有均匀的尺寸差,通过加工规准对放电间隙尺寸的控制,使加工后符合凸凹模配合的技术要求(见图 1-7(c))。

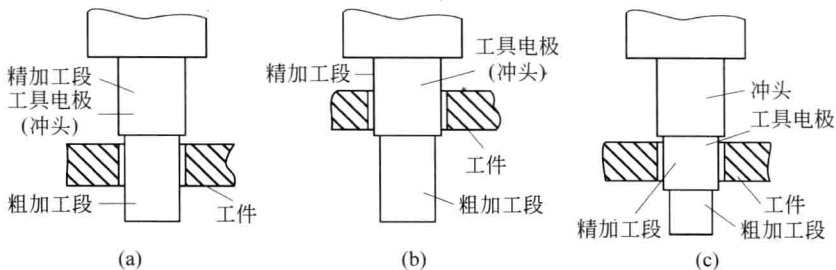


图 1-7 阶梯工具电极加工冲模

除此以外,可根据模具或工件不同的特点和尺寸,要求采用双阶梯或多阶梯工具电极。阶梯形的工具电极可以由直柄形的工具电极用“王水”酸洗、腐蚀而成。机床操作人员应根据模具工件的技术要求和电火花加工的工艺常识,灵活运用阶梯工具电极的技术,充分发挥穿孔电火花加工工艺的潜力,完善其工艺技术。

2. 工具电极

(1) 工具电极材料的选择

从理论上讲,任何导电材料都可以做电极。但不同的材料做电极对于电火花加工速

度、加工质量、电极损耗、加工稳定性有重要的影响。因此,在实际加工中,应综合考虑各个方面的因素,选择最合适的材料做电极。

目前常用的电极材料有紫铜(纯铜)、黄铜、钢、石墨、铸铁、银钨合金、铜钨合金等。这些材料的性能如表 1-1 所示。

表 1-1 电火花加工常用电极材料的性能

电极材料	电加工性能		机加工性能	说 明
	稳定性	电极损耗		
钢	较差	中等	好	在选择电规准时注意加工稳定性
铸铁	一般	中等	好	为加工冷冲模时常用的电极材料
黄铜	好	大	尚好	电极损耗太大
紫铜	好	较大	较差	磨削困难,难与凸模连接后同时加工
石墨	尚好	小	尚好	机械强度较差,易崩角
铜钨合金	好	小	尚好	价格贵,在深孔、直壁孔、硬质合金模具加工中使用
银钨合金	好	小	尚好	价格贵,一般少用

此外,凸模一般选择优质高碳钢、滚动轴承钢、不锈钢、硬质合金等,值得注意的是凹、凸模最好选用不同钢种,否则容易造成加工时的不稳定。

(2) 工具电极的设计

电极设计是电火花加工中的关键点之一。在设计中,第一是详细分析产品图样,确定电火花加工位置;第二是根据现有设备、材料、拟采用的加工工艺等具体情况确定电极的结构形式;第三是根据不同的电极损耗、放电间隙等工艺要求对照型腔尺寸进行缩放,同时要考虑工具电极各部位投入放电加工的先后顺序不同,工具电极上各点的总加工时间和损耗不同,同一电极上端角、边和面上的损耗值不同等因素来适当补偿电极。例如此处:工具电极的尺寸精度应高于凹模,表面粗糙度应小于凸模。另外,工具电极的轮廓尺寸除考虑配合间隙外,还要考虑单面放电间隙。

(3) 工具电极的制造

在进行电极制造时,尽可能将要加工的电极坯料装夹在即将进行电火花加工的装夹系统上,避免因装卸而产生定位误差。冲模加工电极的制造一般先经过普通的机械加工,然后磨削成形,也可以采用线切割加工图模。

3. 电火花加工前的工件准备

在电火花加工前,应对工件进行切削加工,然后进行磨削加工,并预留适当的电火花加工余量。一般情况下,单边的加工余量为 0.3~1.5mm 为宜,这样有利于电极平动。

4. 电规准的选择与转换

电规准是指电火花加工过程中选择的一组电参数,如电压、电流、脉宽、脉间等。电规准选择的正确与否,将直接影响工件加工工艺的效果。因此,应根据工件的设计要求,工具电极和工件材料,加工工艺指标与经济效益等因素综合考虑,并在加工过程中进行必要的转换。

一般来说,电规准分为粗、中、精加工规准。粗规准主要用于粗加工阶段,采用长脉

宽、大电流、负极性加工,用以快速蚀除金属,此时电极损耗小,生产效率高。中规准是过渡性加工,用于减少精加工的加工余量,提高加工效率。精规准用于最终保证冲模的配合间隙、表面粗糙度等质量指标,应选择小电流、窄脉宽、适当增加脉间、抬刀次数,并选用正极性加工。

1.2.2 型腔加工工艺

电火花型腔加工主要用来加工锻模、压铸模、塑料膜等型腔零件。属于盲孔加工,工作液循环和电蚀产物排除条件差,金属蚀除量比较大。另外,加工面积变化大,电规准的变化范围也较大。

1. 电火花加工型腔方法

根据电火花成形加工的特点,在实际中通常采用如下方法。

(1) 单工具电极直接成形法(见图 1-8)

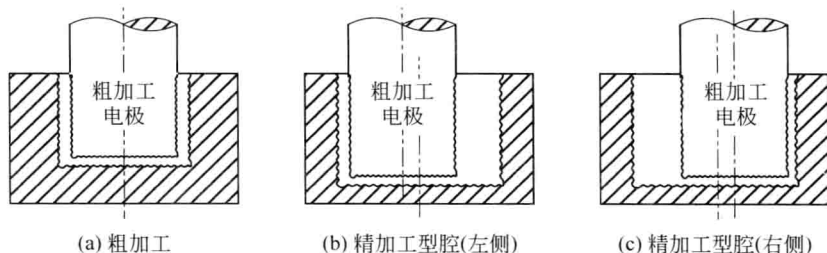


图 1-8 单工具电极直接成形法

单工具电极直接成形法是指采用同一个工具电极完成模具型腔的粗、中及精加工。

对普通的电火花机床,在加工过程中先用无损耗或低损耗电规准进行粗加工,然后采用平动头使工具电极做圆周平移运动,按照粗、中、精的顺序逐级改变电规准,进行侧面平动修整加工。在加工过程中,借助平动头逐渐加大工具电极的偏心量,可以补偿前后两个加工电规准之间放电间隙的差值,这样就可完成整个型腔的加工。

单电极平动法加工时,工具电极只需一次装夹定位,避免了因反复装夹带来的定位误差。但对于棱角要求高的型腔,加工精度就难以保证。

如果加工中使用的是数控电火花机床,则不需要平动头,可利用工作台按照一定轨迹做微量移动来修光侧面。

(2) 多电极更换法(见图 1-9)

对早期非数控电火花机床,为了加工出高质量的工件,多采用多电极更换法。

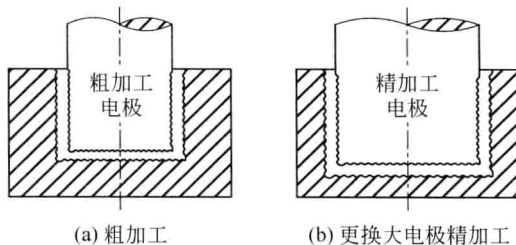


图 1-9 多电极更换法

多电极更换法是指根据一个型腔在粗、中、精加工中放电间隙各不相同的特点,采用几个不同尺寸的工具电极完成一个型腔的粗、中、精加工。在加工时首先用粗加工电极蚀除大量金属,然后更换电极进行中、精加工;对于加工精度高的型腔,往往需要较多的电极来精修型腔。

多电极更换加工法的优点是仿型精度高,尤其适用于尖角、窄缝多的型腔模加工。它的缺点是需要制造多个电极,并且对电极的重复制造精度要求很高。另外,在加工过程中,电极的依次更换需要有一定的重复定位精度。

(3) 分解电极加工法

分解电极加工法是根据型腔的几何形状,把电极分解成主型腔电极和副型腔电极,分别制造。先用主型腔电极加工出主型腔,然后用副型腔电极加工尖角、窄缝等部位的副型腔。此方法的优点是能根据主、副型腔不同的加工条件,选择不同的加工规准,有利于提高加工速度和改善加工表面质量,同时还可简化电极制造,便于电极修整。缺点是主型腔和副型腔间的精确定位较难解决。

近年来,国内外广泛应用具有电极库的数控电火花机床,事先将复杂型腔面分解为若干个简单型腔和相应的电极,编制好程序,在加工过程中自动更换电极和加工规准,实现复杂型腔的加工。

(4) 手动侧壁修光法

手动侧壁修光法主要应用于没有平动头的非数控电火花加工机床。具体方法是利用移动工作台的 X 和 Y 坐标,配合转换加工规准,轮流修光各方向的侧壁。如图 1-10 所示,在某型腔粗加工完毕后,采用中加工规准先将底面修出,然后将工作台沿 X 坐标方向右移一个尺寸 d ,修光型腔左侧壁(见图 1-10(a)),然后将电极上移,修光型腔后侧壁(见图 1-10(b)),再将电极右移,修光型腔右侧壁(见图 1-10(c)),然后将电极下移,修光型腔前侧壁(见图 1-10(d)),最后将电极左移,修去缺角(见图 1-10(e))。完成这样一个周期后,型腔的面积扩大。若尺寸达不到规定的要求,则如上所述再进行一个周期。这样,经过多个周期,型腔可完全修光。

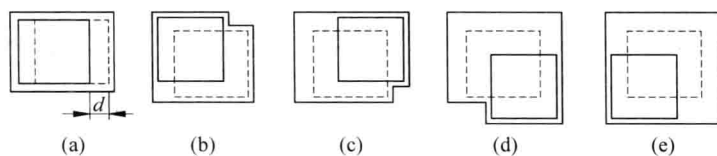


图 1-10 侧壁轮流修光法示意图

在使用手动侧壁修光法时必须注意:

- ① 各方向侧壁的修整必须同时依次进行,不可先将一个侧壁完全修光后,再修光另一个侧壁,避免二次放电将已修好的侧壁损伤。
- ② 在修光一个周期后,应仔细测量型腔尺寸,观察型腔表面粗糙度,然后决定是否更换电加工规准,进行下一周期的修光。

手动侧壁修光加工方法的优点是可以采用单电极完成一个型腔的全部加工过程;缺点是操作烦琐,尤其在单面修光侧壁时,加工很难稳定,不易采取冲油措施,延长了中、精

加工的周期,而且无法修整圆形轮廓的型腔。

2. 工具电极

(1) 电极材料的选用

电极一般选耐腐蚀性能较好的材料,如纯铜、石墨等。纯铜和石墨的特点是在粗加工时能实现低损耗,机加工容易成形,放电加工时稳定性好。常用电极材料性能可参考表 1-1。

(2) 工具电极的设计

工具电极的尺寸设计一方面与模具大小、形状、复杂程度有关;另一方面与电极材料、加工电流、加工余量、单面放电间隙有关。若采用电极平动方法加工,还要考虑平动量大小。

电极的结构形式可根据型孔或型腔的尺寸大小、复杂程度及电极的加工工艺性等来确定。常用的电极结构形式主要有整体式、组合式、镶拼式三种基本类型。

① 整体式电极。整体式电极由一整块材料制成(见图 1-11(a))。若电极尺寸较大,则在内部设置减轻孔及多个冲油孔(见图 1-11(b))。

② 组合式电极。组合式电极是将若干个小电极组装在电极固定板上,可一次性同时完成多个成形表面电火花加工的电极。图 1-12 所示的加工叶轮的电极是由多个小电极组装而构成的。

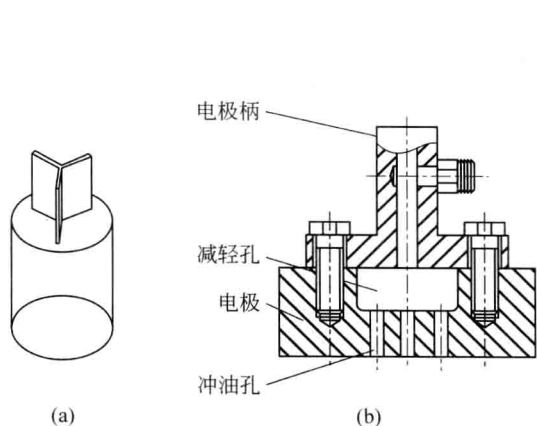


图 1-11 整体式电极

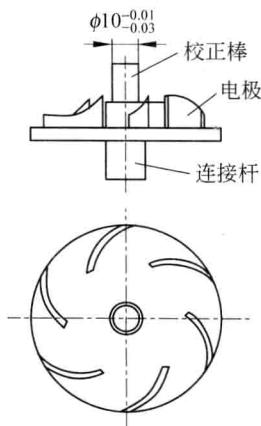


图 1-12 组合式电极

采用组合式电极加工时,生产率高,各型孔之间的位置精度也较准确。但是对组合式电极来说,一定要保证各电极间的定位精度,并且每个电极的轴线要垂直于安装表面。

③ 镶拼式电极。镶拼式电极是将形状复杂而制造困难的电极分成几块来加工,然后再镶拼成整体的电极。

(3) 工具电极的制造

工具电极的制造一般经过普通机械加工然后再进行成形磨削。

3. 电规准的选择、转换与平动量的分配

一般来说,电规准分为粗、中、精加工规准。成形加工电规准转换可按照穿孔加工电

规准转换的原则进行选择。其中,单电极法要注意平动量的选择。平动量的分配主要取决于被加工表面由粗到细的修光量,此外还和电极损耗、平动头原始偏心量、主轴进给运动的精度有关。一般,粗、中规准加工的平动量为总平动量的75%~80%。中规准加工后,型腔基本形成,只留下少量的加工余量用于精规准修光。具体电规准的选择可参考电火花加工工艺曲线图表,如图1-13~图1-16所示。

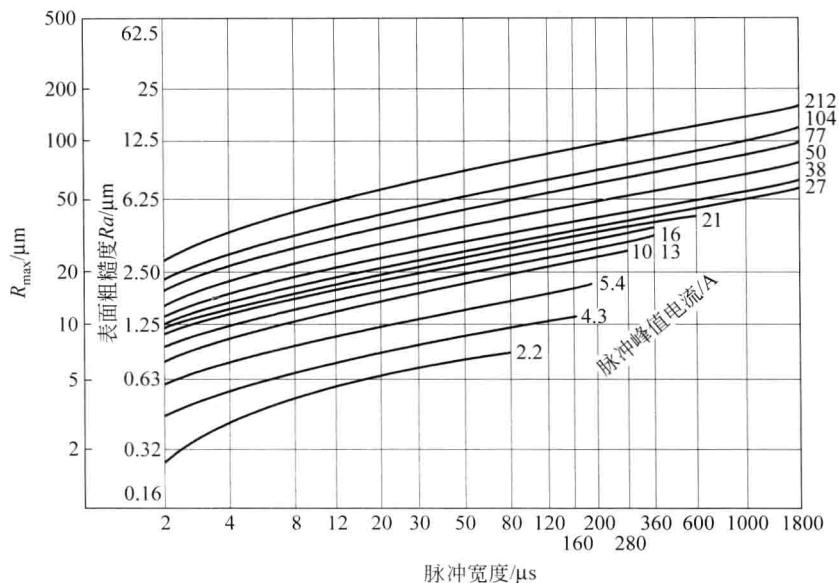


图 1-13 铜“+”钢“-”时表面粗糙度与脉冲宽度、峰值电流的关系曲线

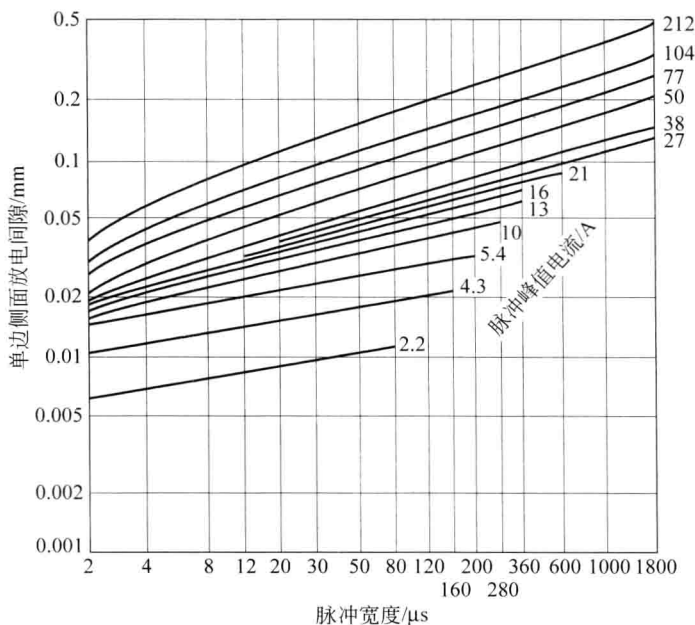


图 1-14 铜“+”钢“-”单边侧面放电间隙与脉宽、峰值电流的关系曲线