

前言

特种加工技术是近几十年发展起来的新工艺，是对传统加工工艺的重要补充，目前仍在继续研究开发和改进中。该技术直接利用电能、热能、声能、光能、化学能和电化学能，有时也结合机械能对工件进行加工。

为了开阔专业视野，掌握制造技术和最新发展，培养复合型人才，促进特种加工技术在我国的研究和应用，特种加工技术已作为众多高职高专学校制造类学生的必修课程。

本教材分为六个单元，包括认知特种加工技术、电火花成型加工训练、电火花线切割加工训练、激光加工训练、电化学加工训练、超声加工训练。每个单元包含若干任务，每个任务以任务描述—任务目标—任务实施—任务评价—知识链接—任务拓展的形式编写。

本教材的编写力求做到通俗实用、内容精选、图文并茂，且每个单元后均附有复习题，既便于教学，也便于读者复习巩固。

本教材由辽宁建筑职业学院范宁担任主编并完成统稿工作，由辽宁建筑职业学院霍志伟、周立新担任副主编。

由于编写时间及水平有限，书中难免存在一些不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

单元一 认知特种加工技术	1
任务 1 认知特种加工技术的产生和发展	2
任务 2 认知特种加工技术的特点及分类	3
单元二 电火花成型加工训练	9
任务 1 微细单孔的电火花加工	10
任务 2 工具电极和工件电极的找正	19
任务 3 异形单孔的电火花加工	26
任务 4 排孔的电火花加工	32
任务 5 零件中断丝锥和钻头的电火花加工	37
任务 6 零件侧壁的圆孔和方孔的电火花加工	41
单元三 电火花线切割加工训练	49
任务 1 薄板类零件的电火花线切割加工	50
任务 2 圆弧窄壁类零件的电火花线切割加工	57
任务 3 内孔类零件的电火花线切割加工	68
任务 4 排孔零件的电火花线切割加工	73
任务 5 上下异形和锥度的电火花线切割加工	77
任务 6 齿轮的电火花线切割加工	80
任务 7 趣味电火花线切割加工	84

单元四 激光加工训练	92
任务 1 激光打标	93
任务 2 激光焊接	100
单元五 电化学加工训练	110
任务 1 电解加工	111
任务 2 电镀加工	117
任务 3 电铸加工	131
任务 4 电化学抛光	141
单元六 超声加工训练	146
任务 1 认知超声加工方法	147
任务 2 超声去除加工	157
参考答案	166
参考文献	170

单元二

电火花成型加工训练

电火花加工（Electrical Discharge Machining，简称 EDM）是在液体介质中进行的，机床的自动进给调节装置使工件和工具电极之间保持适当的放电间隙，当工具电极和工件之间施加很强的脉冲电压（达到间隙中介质的击穿电压）时，会击穿介质绝缘强度最低处。由于放电区域很小，放电时间极短，所以能量高度集中，使放电区的温度瞬时高达 $10\,000 \sim 12\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，工件表面和工具电极表面的金属局部熔化，甚至汽化。局部熔化和汽化的金属在爆炸力的作用下抛入工作液中，并被冷却为金属小颗粒，然后被工作液迅速冲离工作区，从而使工件表面形成一个微小的凹坑。一次放电后，介质的绝缘强度恢复，等待下一次放电。如此反复使工件表面不断被蚀除，并在工件上复制出工具电极的形状，从而达到成型加工的目的。

本单元主要训练读者电火花成型机床的基本操作，程序的输入与编写方法，电火花成型机床的日常维护与安全操作，工具电极与工件电极的安装与找正方法等方面的能力。

任务 1

微细单孔的电火花加工

任务描述 >>

图 2-1 为一方形锥槽零件，材料为 45 钢。方槽零件的主要尺寸：槽长为 40 mm，槽顶宽为 5 mm，槽深为 20 mm，槽的锥度为 7° 。要求：使用电火花机床对该零件的锥槽进行加工，此零件尺寸公差无严格要求。

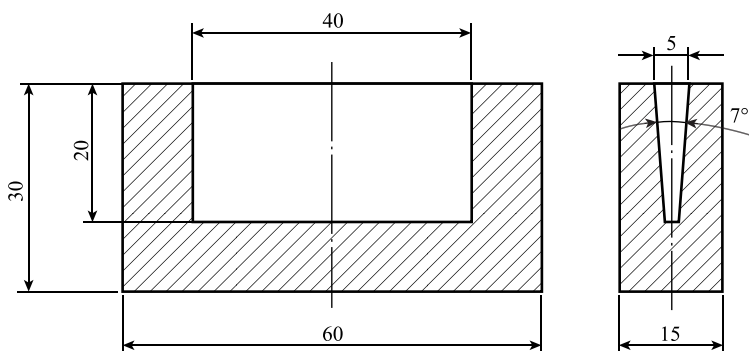


图 2-1 方形锥槽

任务目标 >>

- 了解电火花成型机床的结构及组成。
- 熟悉电火花成型机床的开、关机顺序。
- 能独立完成电火花成型机床 D7140P 的基本操作。
- 掌握电火花成型机床的安全操作规程及日常维护与保养。

任务实施 >>

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台，型号为 D7140P。

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、0~150 mm 卡尺 1 把、精密角尺 1 把、平口虎钳 1 台、垫铁 1 套、外径百分表 1 块、磁力表座 1 套、组合工具 1 套。

(3) 毛坯

准备一块毛坯料，尺寸不小于 65 mm × 35 mm × 18 mm，利用铣床规方至零件外形尺寸。

2. 任务分析

由图 2-1 可知，此零件的方形锥槽需要用电火花成型机床来加工。加工此类零件的难点是电蚀物排屑不畅，这将直接影响到该零件的表面质量及加工效率，严重时甚至无法加工。除此之外，我们还要考虑电极的损耗、加工稳定性及加工效率等问题。因此，针对以上问题主要采取的措施有：

(1) 选用合理的电规准，在保证表面质量的前提下，尽量加快加工速度，提高加工效率。

(2) 在加工过程中，增强冲油效果，保证大部分电蚀物顺利排出槽外。

(3) 不定期暂停机床，利用机床工作液循环系统的吸油回路，对槽内的电蚀物进行清理，排出槽底堆积物。

3. 电火花成型机床的加工步骤

(1) 电极的制造。

① 电极材料的选择：本节加工零件的电极用紫铜来制造。

② 电极的制造：电极采用电火花线切割加工成型，其形状尺寸如图 2-2 所示。电极主要尺寸窄槽长度为 40 mm，宽度以 5 mm 位置为基准来加工，锥度为 7°，电极在高度方向上以方形锥槽的尺寸为基础，总体向上延伸 1 mm，以保证满足加工零件的深度要求，尺寸 10 mm × 10 mm × 4 mm 的位置为电极安装工艺台。

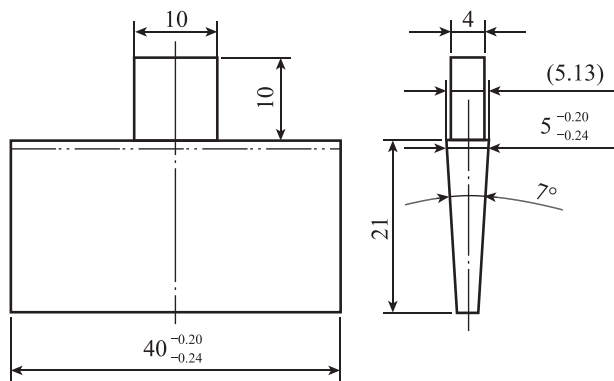


图 2-2 工具电极

(2) 电极的安装与找正（详见任务 2）。

(3) 工件的安装与找正（详见任务 2）。

(4) 电火花成型机床加工零点的设定（详见任务 3）。

(5) 程序的编写（详见任务 3）。

(6) 电规准的选择。

- (7) 零件的加工过程。
- (8) 检验。

4. 电火花成型机床的操作步骤

- (1) 打开电源总开关，打开机床操作面板上的“急停”按钮，使用“RESET”复位键，使机床复位；
- (2) 将工件放于平口钳上，利用垫铁将其调整到与钳口平齐或者稍高于钳口 3 ~ 5 mm 处，校正并夹持固定（注：因为加工中没有机械力，所以无须过大的夹紧力，保证工件不松动即可）；
- (3) 将电极按图纸相应的形状、方向装夹于机床夹头上，并校正电极；
- (4) 寻找电极 X、Y 方向的中心点，将机床坐标清零，寻找 Z 方向零点，清零；
- (5) 编写程序，设定相应的电规准；
- (6) 放油，自动执行加工程序，由于加工面积小，这里选择冲油加工，在加工过程中随时清理杂质（电蚀产物），以免堆积影响表面质量；
- (7) 加工结束，取下工件并清理，用卡尺测量并对照图纸检验；
- (8) 清理机床和工作现场，整理工、夹、量具；
- (9) 关闭机床，整个加工过程结束。

任务评价 > >

项目	内容及要求	好 (5 分)	较好 (4 分)	一般 (3 分)	较差 (2 分)	差 (1 分)	得分
1	能否独立完成电火花机床的基本操作						
2	能否正确说出机床的结构及组成						
3	完成机床的开、关机正确顺序						
4	机床安全操作规程的掌握情况						
5	日常维护与保养的掌握情况						

知识链接 > >

1. D7140P 电火花成型机床的结构

在电火花成型机床中，最为常用的是电火花穿孔、成型加工机床。它由主机（机床的主体）、工作液循环系统、脉冲电源及机床附件等组成，如图 2-3 所示。

(1) 主机

主机的作用是保证工具电极与工件之间的相互位置尺寸要求。主要包括主轴头、滑块、工作台、床身和立柱及主机流油系统等几部分。

(2) 工作液循环系统

工作液循环系统如图 2-4 所示，由工作液泵、工作液箱、过滤器和管道组成，是

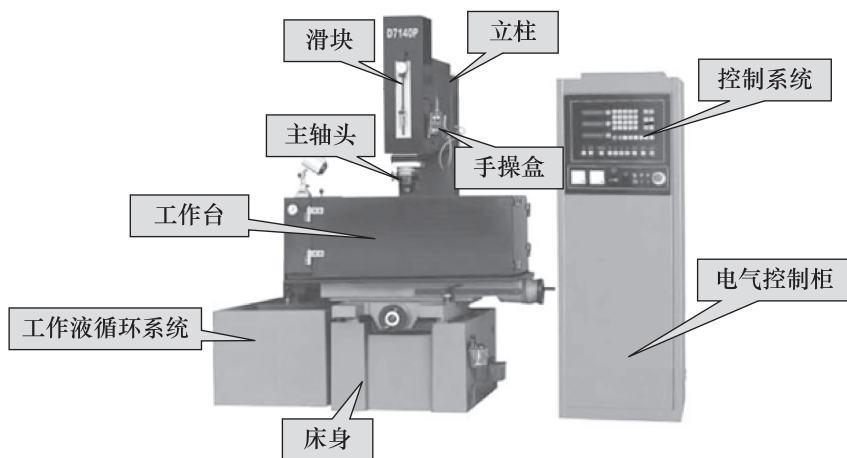


图 2-3 电火花成型机床结构

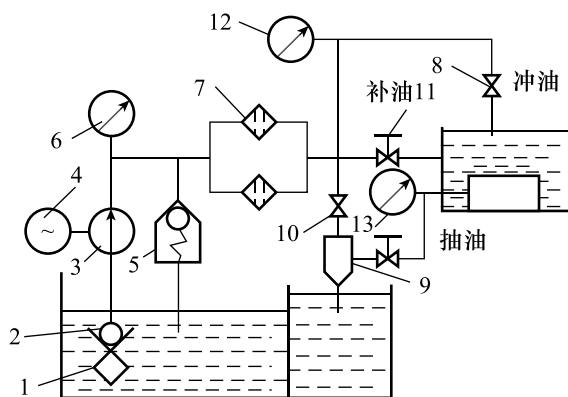


图 2-4 电火花成型机床工作液循环系统

- 1—粗过滤器；2—单向阀；3—涡旋泵；4—电机；5—安全阀；
6—压力表；7—精过滤器；8—压力调节器；9—射流抽吸管；
10—冲油选择阀；11—快速进油控制阀（补油）；12、13—压力表

电火花成型机床中不可缺少的一部分。其主要作用有：①形成电火花击穿放电通道，在放电结束后迅速恢复间隙的绝缘状态。②对放电通道起到压缩作用，使放电能量集中，强化加工过程。③在加工过程中，对电极和工件表面起到冷却和散热作用，确保放电间隙的热量平衡。④及时冲走放电加工时产生的废物，保持工具电极及工件间的清洁、恒定的间隙。在工作液循环系统中，为了使其正常工作，一定要安装必要的调节和过滤装置，以便对工作液进行过滤和净化。常用的工作液主要是煤油和火花机电蚀油。

(3) 脉冲电源

电火花成型加工机床的脉冲电源的作用是把普通 220 V 或 380 V、50 Hz 的交流电转换成在一定频率范围、具有一定输出功率的单向脉冲电，提供电火花成型加工所需要的放电能量，以满足工件的加工要求。

(4) 机床附件

D7140P 电火花成型机床的附件主要是主轴头夹具，实物图及结构图如图 2-5、图 2-6 所示。加工前，需要将工具电极调节到与工件基准面垂直的位置。调节过程是靠装在主轴头上的球形铰链来实现的，通过 6 个调节螺钉来实现工具电极的调整。



图 2-5 电火花成型机床通用夹头实物图

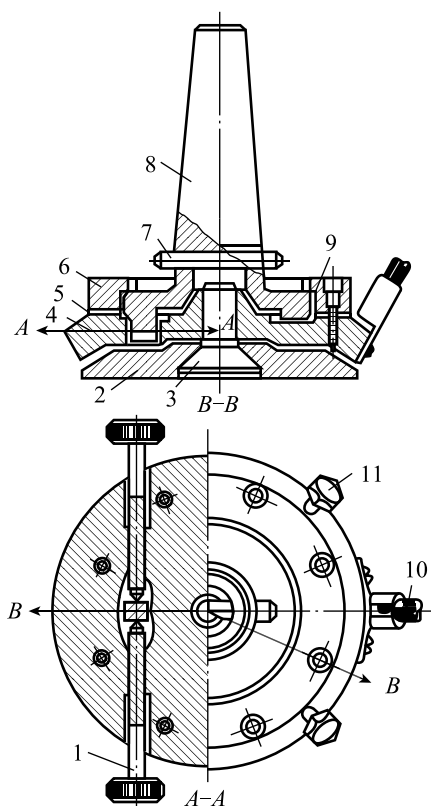


图 2-6 电火花成型机床通用夹头结构图

- 1—调节螺钉；2—摆动法兰盘；3—球面螺钉；4—调角校正架；
5—调整垫；6—上压板；7—销钉；8—锥柄座；9—滚珠；
10—电源线；11—垂直度调节螺钉

2. D7140P 电火花成型机床的安全操作规程

- (1) 开机操作前,要穿好工作服,做好操作准备工作。
- (2) 电火花机床必须在专人的指导下进行操作,不允许未经许可自行操作。
- (3) 操作室内禁止一切明火和吸烟,应备有扑灭油着火的灭火器材。
- (4) 工作时检查机械、脉冲电源、控制旋钮、显示仪表,都应保持完整可靠。
- (5) 装卸工件、定位、校正电极、擦拭机床时,必须切断脉冲电源。

(6) 加工时,可采用喷油加工,也可采用浸油加工。喷油加工容易引起火灾,应小心;浸油加工时,工作液面应保持高于工件表面 50 ~ 60 mm,以免电流过大、液面过低而着火。

(7) 在机床工作过程中,操作者应站在绝缘橡皮或木踏板上,禁止用手触及电极,以防触电。加工过程中不要将手放到工具电极和工件之间,以防对操作人员造成人身伤害。

(8) 在操作过程中,进行移动操作时要特别小心,必须确认移动行程中没有阻挡物,以防撞坏电极和工件,或造成移动轴伺服过载甚至损坏机床。

(9) 在机床加工过程中,操作者不能随意离开,要仔细观察放电状态,以防意外事故发生。

(10) 加工结束后,要将工作液回放到储液槽中,关闭机床电源,清扫机床,收拾工具,打扫现场卫生。

3. D7140P 电火花成型机床的日常维护与保养

(1) 每次加工完结后,应将工作液回放到工作液箱内,将工作台面用棉纱擦拭干净。

(2) 在加工过程中,必须对电蚀物进行过滤。若工作液过滤器过滤效果变差,工作液浑浊不清,应及时更换。

(3) 定期观察火花油槽内的油量有无低于标准值,若低于标准值应及时加油。

(4) 机台无生锈现象,保持机身干净、无油污。

(5) 随时注意手动注油器油标的高低,及时加油,定期检查油路是否畅通,每次操作机床之前拉动注油器手柄,为导轨和滑块注油润滑,以保证机床各部位良好的润滑性。

(6) 注意机床周围的环境,应杜绝明火,且对机床的使用情况建立档案,及时反馈机床的运行情况。

4. D7140P 电火花成型机床的基本操作

(1) 机床操作面板

D7140P 电火花成型机床操作面板,如图 2-7 所示,由数据显示区 1、程序设定区 2、操作功能区 3、键盘 4、功能设定区 5、加工功能区 6 六部分组成。

(2) 数据显示区

如图 2-8 所示, 数据显示区 (1、2、3) 有两种显示功能: 第一种是在 DISP 状态下, 显示机床 X、Y、Z 坐标位置; 第二种是在 EDM 状态下, 显示程序设定的加工深度 (图中 1 位置), 当前已经加工到的深度 (图中 2 位置) 和机床 Z 轴的实时位置 (图中 3 位置)。在 DISP 状态下, 4、5、6 为坐标轴清零键, 操作机床或对刀过程中, 可以对相应的坐标轴进行清零。

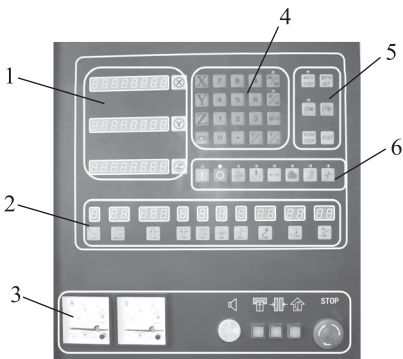


图 2-7 D7140P 电火花成型机床操作面板



图 2-8 数据显示区

(3) 程序设定区

如图 2-9 所示, 程序设定区由程序段号 1、加工电流 2、脉冲宽度 3、脉冲间隔 4、高压重叠 5、加工间隙 6、自动对刀键 7、加工时间 8、抬刀 (1) 9、抬刀 (2) 10 共十个参数组成。

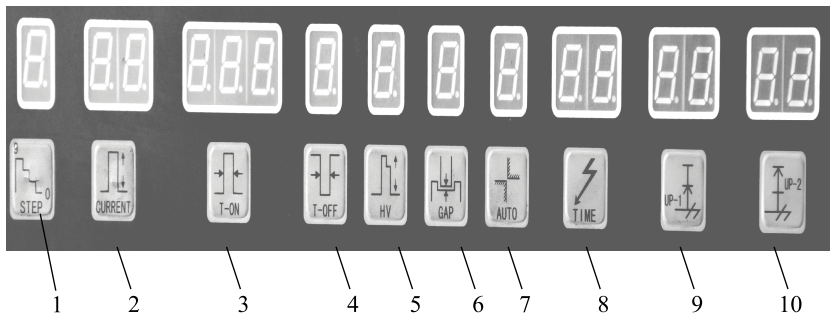


图 2-9 程序设定区

- ① 程序段号: 用来设定程序段, 完成零件粗、半精和精加工的程序编写, 程序段由 0 至 9 共十段, 需要由小到大按顺序编写, 如 0、1、2 或者 4、5、6 的编写方法, 在自动状态下都可以按顺序依次执行。
- ② 加工电流: 设定加工中的电流大小。
- ③ 脉冲宽度和脉冲间隔: 设定高频电源输出矩形波的波峰和波谷, 即单个脉冲的放电时间和间歇时间。
- ④ 高压重叠: 设定高频电源输出的电压叠加, 由 1、2、3 三挡组成。

⑤ 加工间隙：设定在加工过程中，电极与工件之间的距离。

⑥ 自动对刀键：按下此键， Z 轴自动向下缓慢移动，直到电极接触到工件， Z 轴停止向下移动，机床报警，此时可以将 Z 坐标清零，设定加工零点。

⑦ 加工时间：设定一次加工过程中，电极的放电时间。

⑧ 抬刀（1）、抬刀（2）：电极上抬/下降的距离，抬刀（1）段电极为慢抬/慢下，防止抬起过快使电极与工件之间产生真空，或下降过快工件中的加工介质排不出去，使工件和电极移动甚至损坏。抬刀（2）段为快抬/快下，以提高加工效率。

编写程序时，只需设定程序段、加工深度（见图 2-12 功能设定区 4）和加工电流，其他参数一般采用系统自动生成的即可。

（4）操作功能区

如图 2-10 所示，操作功能区由加工电流表 1、加工电压表 2、报警器 3、反向加工键 4、电极锁定键 5、加工结束关机键 6 和急停按钮 7 组成。

（5）键盘

如图 2-11 所示，键盘由轴选择按键 1、数字按键 2、确认键 3、公制和英制转换键 4、绝对和相对坐标转换键 5、绝对值清零键 6 和坐标值取 1/2 键 7 组成。

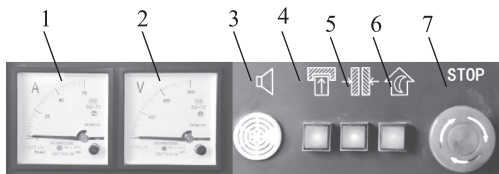


图 2-10 操作功能区



图 2-11 键盘

（6）功能设定区

如图 2-12 所示，功能设定区由自动多步加工键 1、加工深度显示键 2、清除键 3、加工深度设定键 4、机床坐标值显示键 5 和机床复位键 6 组成。

① 自动多步加工键 1：按下，指示灯亮有效，有多个程序段时，本段执行结束后自动执行下一段。

② 加工深度显示键 2：按下，指示灯亮有效，在显示区显示加工界面，与 DISP 相互切换。

③ 清除键 3：用来清除数据和程序。

④ 加工深度设定键 4：按下有效，同时配合数字键设定程序段的加工深度。

⑤ 机床坐标值显示键 5：按下，在显示区显示坐标轴界面，与 EDM 相互切换。

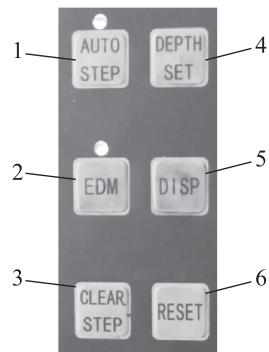


图 2-12 功能设定区

⑥ 机床复位键 6：按下此键，机床复位到初始状态。

(7) 加工功能区

如图 2-13 所示，加工功能区由加工开始键 1、加工停止键 2、工作液开/关键 3、浸没设定键 4、间歇喷油键 5、防火报警键 6、加工结束上抬键 7 和手动对刀键 8 组成。

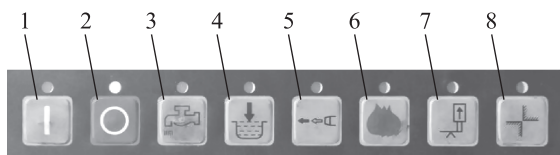


图 2-13 加工功能区

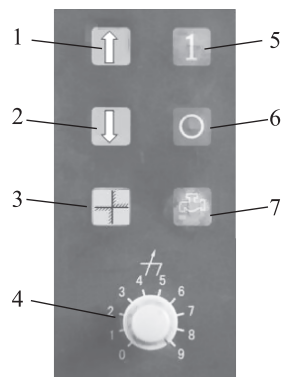


图 2-14 手操脉冲发生器

加工开始键 1 和加工停止键 2 控制机床加工开始和结束；工作液开/关键控制开/关工作液泵；浸没设定键 4 有效时，机床油槽里的油面没有达到油标之上时，不能开始加工；间歇喷油键 5 有效时，加工时油管间歇喷油；防火报警键 6 有效时，若发生火灾，则机床自动停止加工并报警；加工结束上抬键 7 有效时，加工结束后机床主轴抬到最高位置；手动对刀键 8 有效时，可以手动移动 X 、 Y 和 Z 轴来对刀设定加工零点，若电极和工件接触，机床报警器会报警提示。

(8) 手操脉冲发生器

电火花成型机床 D7140P 的手操脉冲发生器，如图 2-14 所示，由主轴上抬键 1、主轴下降键 2、手动对刀键 3、主轴加工速度控制键 4、加工开始键 5、加工停止键 6 和工作液开/关键 7 组成。

主轴上抬键 1 和主轴下降键 2，按住不放可以控制主轴的上、下移动；主轴加工速度控制键 4，加工或对刀键有效时，可以调节主轴的下移速度，其他功能同加工功能区。

任务拓展 > >

图 2-15 为一斜角锥形槽零件，材料为 45 钢。零件的主要尺寸：槽长为 40 mm，槽顶宽为 5 mm，槽深为 20 mm，在槽底有两个斜角，槽的锥度为 7° 。简述该零件的加工过程，说出加工中的难点。

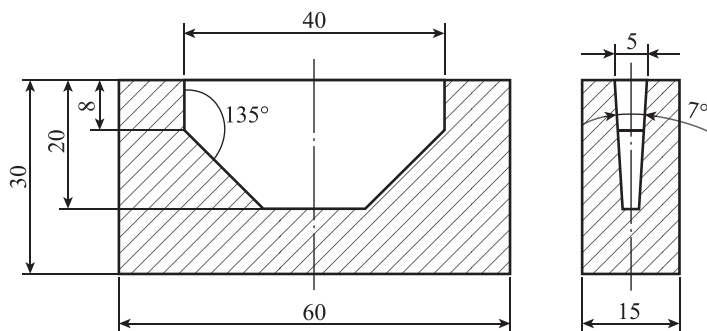


图 2-15 斜角锥形槽

任务 2

工具电极和工件电极的找正

任务描述 >>

图 2-16 (a) 为一圆形和一方形两种工具电极，材料分别为 45 钢和紫铜，图 2-16 (b) 为一圆形和一方形两类工件，材料为 45 钢。要求对电极和工件进行安装和找正。

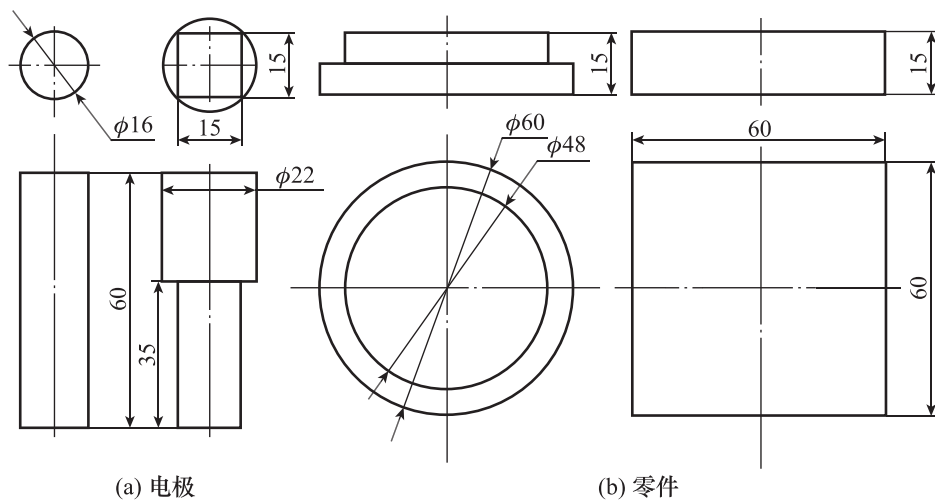


图 2-16 电极和零件

任务目标 >>

- 熟悉电火花加工过程中的常用术语。

- 掌握圆形和方形电极的安装与找正。
- 掌握圆形和方形工件的安装与找正。
- 了解常用的电极材料及性能。

任务实施 > >

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台，型号为 D7140P。

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、钢板尺 1 把、精密角尺 1 把、三爪夹盘 1 个、平口虎钳 1 台、压板及垫铁 1 套、磁力表座 1 套、外径百分表 1 块、组合工具 1 套、橡胶锤。

(3) 毛坯

准备如图 2-16 所示的电极和零件，利用数控车床、数控铣床加工至零件外形尺寸。

2. 任务分析

图 2-16 (a) 为圆形和方形两种工具电极，可通过钻夹头来装夹，利用精密角尺和外径百分表来找正。由图 2-16 (b) 可知，工件为圆形和方形两种，我们可以分别采用三爪夹盘和平口虎钳来装夹工件，然后再使用钢板尺、精密角尺和外径百分表来找正。

3. 电极和工件的安装与找正步骤

(1) 电极的制造

圆形电极用 45 钢来制造，可用数控车床一次成型。方形电极用紫铜来制造，由于紫铜比较软，其机械加工性能不好，在切削过程中易黏刀，所以采用适当的主轴转速和进给速度，先用数控车床加工至 $\phi 22\text{ mm}$ ，再用数控铣床加工至 $15\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ ，加工过程中要保证电极的同轴度。

(2) 工件的制造

工件用 45 钢来制造，圆形件可用数控车床一次加工成型。方形件用数控铣床加工，加工过程中要保证工件六面的垂直度。

4. 电极的安装与找正

电火花成型机床通用夹头如图 2-17 所示，其组成：前后摆动调节螺栓（1 对）、旋转调节螺栓（1 对）、左右摆动调节螺栓（1 对）、电极锁紧螺母（2 对）、绝缘子、电极安装槽和电极锁紧螺钉。

(1) 圆形电极的找正过程

①先将钻夹头安装在电极安装槽内，用电极锁紧螺钉锁紧，然后将 $\phi 16\text{ mm}$ 的圆形电极夹到钻夹头上，将电极锁紧螺母松开，再将前后、左右摆动调节螺栓松开，使电极处于自由状态。

②用精密角尺将电极粗调整到垂直位置，将摆动调节螺栓锁紧。

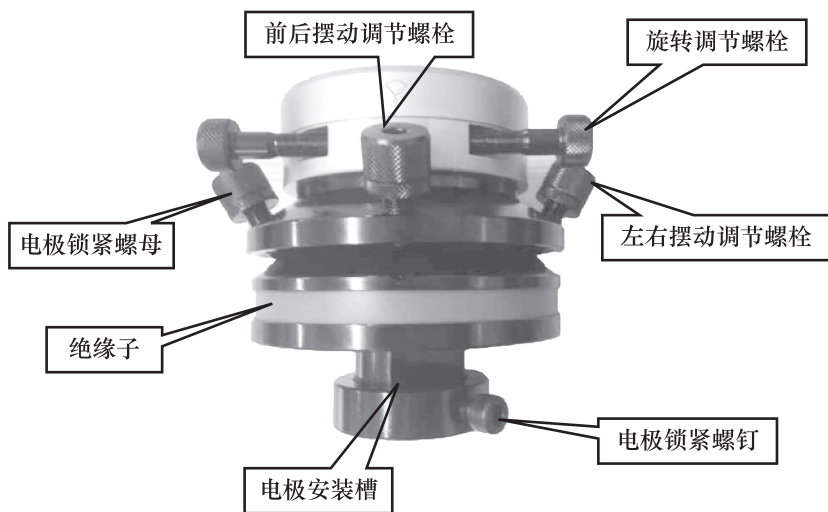


图 2-17 通用夹头组成图

③把外径百分表安放在磁力表座上，并把磁力表座吸到机床工作台上，使外径百分表的测量头接触到电极最右侧的母线上（ X 轴），调整好测量杆的位置，注意不要把测量杆放到极限位置，通过机床手操盒上下移动机床主轴（ Z 轴），观察外径百分表的数值变化，利用左右摆动调节螺栓来调节电极位置，直至外径百分表数值没有变化，将左右摆动调节螺栓锁紧，电极的左右位置调节完成。

④将外径百分表移动到电极最前端母线处（ Y 轴），进行第③步操作，调节电极的前后位置，调节结束。

⑤分别将外径百分表移动到两条 45° 线上，重复第③步操作，通过两对摆动调节螺栓对电极进行微调。

⑥电极调整结束后，分别将两对摆动调节螺栓同时锁紧，再将电极锁紧螺母锁紧，防止电极松动。电极头上绝缘子的作用是防止调频电源正负极之间短路。

（2）方形电极的找正过程

①将方电极的装夹台 $\phi 22$ mm 圆柱面夹到钻夹头上，将电极锁紧螺母松开，再将前后、左右摆动及旋转调节螺栓松开，使电极处于自由状态。

②用精密角尺将电极粗调整到垂直位置，将摆动及旋转调节螺栓锁紧。

③把外径百分表安放在磁力表座上，并把磁力表座吸到机床工作台上，使外径百分表的测量头接触到电极与 X 轴平行的一个表面，通过机床 X 轴手柄左右移动机床，观察外径百分表的数值变化，利用旋转调节螺栓来调节电极位置，直至外径百分表数值没有变化，将旋转调节螺栓锁紧，电极的水平位置调节完成。

④利用机床手操盒上下移动机床主轴（ Z 轴），观察外径百分表的数值变化，配合使用前后摆动调节螺栓来调节电极位置，直至外径百分表数值没有变化，将前后调节螺栓锁紧，电极的前后（沿 Y 方向）摆动调节完成。

⑤将外径百分表移动到电极与 Y 轴平行的表面上，利用机床手操盒上下移动机床

主轴（ Z 轴），观察外径百分表的数值变化，配合使用左右摆动调节螺栓来调节电极位置，直至外径百分表数值没有变化，将左右调节螺栓锁紧，电极的左右（沿 X 方向）摆动调节完成。

⑥电极调整结束后，分别将三对调节螺栓同时锁紧，再将电极锁紧螺母锁紧，防止电极松动。

5. 工件的安装与找正

(1) 圆形工件的找正过程

①使用压板将三爪夹盘安装到机床工作台上，将工件 $\phi 48\text{ mm}$ 直径朝下装夹到三爪夹盘上。

②使用钢板尺初步确定工件的大致中心位置。

③把外径百分表安装到钻夹头上，注意要安装到可以旋转的位置，调整好外径百分表的位置，使外径百分表的测量头接触到工件 $\phi 60\text{ mm}$ 的外圆柱表面。

④匀速旋转钻夹头，使外径百分表在 $\phi 60\text{ mm}$ 的外圆柱表面匀速运动，观察外径百分表的读数，利用 X 、 Y 两坐标轴的手柄调节工件位置，直至外径百分表的读数没有变化，说明当前位置是工件的中心点。

⑤将机床两坐标轴的坐标值清零，记录工件中心位置即完成中心点的找正。

(2) 方形工件的找正过程

①使用压板将方形工件装夹到机床工作台上，注意压板的紧固螺母不要旋得太紧。

②利用精密角尺和钢板尺初调工件的水平位置。

③将外径百分表安放在磁力表座上，并把磁力表座吸到机床主轴（ Z 轴）的固定位置上，使外径百分表的测量头接触到工件与 X 轴平行的侧表面，通过机床 X 轴手柄左右移动机床，观察外径百分表的数值变化，利用橡胶锤轻轻敲击工件，来调整工件的位置，直至外径百分表数值没有变化，将压板紧固螺母锁紧，再次移动机床 X 轴观察外径百分表数值变化，在误差允许范围内，则调节完成，如果超出误差允许范围，则需重新调整。

任务评价 > >

项目	内容及要求	好 (5 分)	较好 (4 分)	一般 (3 分)	较差 (2 分)	差 (1 分)	得分
1	能否独立完成圆形电极的找正						
2	能否独立完成方形电极的找正						
3	能否独立完成圆形工件的找正						
4	能否独立完成方形工件的找正						

知识链接 > >

1. 电火花加工过程中的常用术语

(1) 工具电极 EL

电火花加工用的工具是电火花放电时的电极之一，故称为工具电极，有时简称电极。

(2) 放电间隙 s

放电时工具电极和工件间发生火花放电的距离称为放电间隙，在加工过程中则称为加工间隙。它的大小一般为 $0.01 \sim 0.5 \text{ mm}$ ，粗加工时较大，精加工时则较小。

(3) 脉冲宽度 t_i (μs)

脉冲宽度，简称脉宽，是加到电极和工件上放电间隙两端的电压脉冲的持续时间。粗加工时可用较大的脉宽，精加工时只能用较小的脉宽。

(4) 脉冲间隔 t_o (μs)

脉冲间隔，简称脉间，也称脉冲停歇时间，它是两个电压脉冲之间的间隔时间。间隔时间过短，放电间隙来不及消电离和恢复绝缘，容易产生电弧放电，烧伤电极和工件；脉间选得过长，将降低加工生产率。加工面积、加工深度较大时，脉间也应稍大。

(5) 放电时间 t_e (μs)

放电时间是指工作液介质被击穿后放电间隙中流过放电电流的时间，即电流脉宽。它比电压脉宽稍小，二者相差一个击穿延时 t_d 。 t_i 和 t_e 对电火花加工的生产率、表面粗糙度和电极损耗有很大影响。

(6) 击穿延时 t_d (μs)

从间隙两端加上脉冲电压到发生放电之间的时间，一般均要经过一小段时间 t_d ，工作液介质才能被击穿放电。

(7) 脉冲周期 t_p (μs)

一个电压脉冲开始到下一个电压脉冲开始之间的时间称为脉冲周期。

(8) 脉冲频率 f_p (Hz)

脉冲频率是指单位时间内电源发出的脉冲个数。

(9) 脉宽系数 τ

脉宽系数是脉冲宽度 t_i 与脉冲周期 t_p 之比。

(10) 占空比 ψ

占空比是脉冲宽度 t_i 与脉冲间隔 t_o 之比，即 $\psi = t_i/t_o$ 。粗加工时占空比一般较大，精加工时占空比应较小，否则放电间隙来不及消电离和恢复绝缘，容易引起电弧放电。

(11) 开路电压 (V)

开路电压是间隙开路时电极间的最高电压，有时等于电源的直流电压，又称空载电压或峰值电压。

(12) 加工电压 U (V)

加工电压是指加工时电压表上指示的放电间隙两端的平均电压，又称间隙平均电压。

(13) 加工电流 I (A)

加工电流是指加工时电流表上指示的流过放电间隙的平均电流。精加工时小，粗加工时大。

(14) 脉冲电源

以脉冲方式向工件和工具电极间的加工间隙提供放电的能量装置。

(15) 工作液介质

电火花加工时，工具电极和工件间的放电间隙一般浸泡在有一定绝缘性能的液体介质中，此介质称为工作液介质。

(16) 电蚀产物

电蚀产物是指电火花加工过程中被蚀除下来的产物。

2. 电火花加工常用电极材料

电火花放电加工过程中，电极把自己的完整形状转移给工件，所以电极的形状和精度对最后工件的加工精度有非常大的影响。因此电极材料需要具有以下特点：

- (1) 良好的导电和导热性能；
- (2) 易于机械加工；
- (3) 良好的材料去除率；
- (4) 良好的抗侵蚀能力；
- (5) 很低的电极（工具）磨损率；
- (6) 可塑成多种形状。

常用的电极材料有石墨、铜、碳纤维、黄铜、锌合金、钢、铜钨合金、钨等。

铜 纯铜和电解质铜作为电极材料被广泛使用，其优点是塑性好，可机械加工成型、锻造成型、电铸成型以及线切割成型等，质地细密，加工稳定性好，相对电极损耗小，适应性广。铜的主要缺点是切削性比较差。

黄铜 易切削的黄铜是常用的电极材料。它的主要优点是机械加工性好，最适宜中、小规准情况下加工，制造容易；缺点是电极损耗比一般电极大，不容易使工件一次成型，所以一般只用在简单的模具加工或通孔加工，取断丝锥等。在加工像钛合金这种排屑困难的材料时，黄铜已被证实是一种良好的电极材料。但是由于其较高的磨损率，它不能用于加工硬质合金。

石墨 具有良好的抗热冲击性，耐腐蚀性，在高温下具有良好的机械强度，热膨胀系数小，在宽脉冲、大电流的情况下具有电极损耗小的特点。缺点是精加工电极损耗大。加工光洁度略低于紫铜电极，容易脱落、掉渣。由于石墨良好的机械性能和抗磨损性能，在加工中成为被广泛应用的电火花加工电极材料。

铜石墨 铜石墨是经过渗铜处理的石墨。其抗弯刚度比普通石墨更高，具有铜和

石墨的一些优点。它要比石墨贵 1.5~2 倍。它比石墨有更强的导电性，但其边角磨损不如纯石墨。被用来加工硬质合金材料。

钢 钢不是令人满意的电极材料，然而，当模具的一半是电极，另一半是工件时，钢被用来做它们的分割面件，因为这样的组合钢材料拥有非常缓和的去除速率和磨损率。

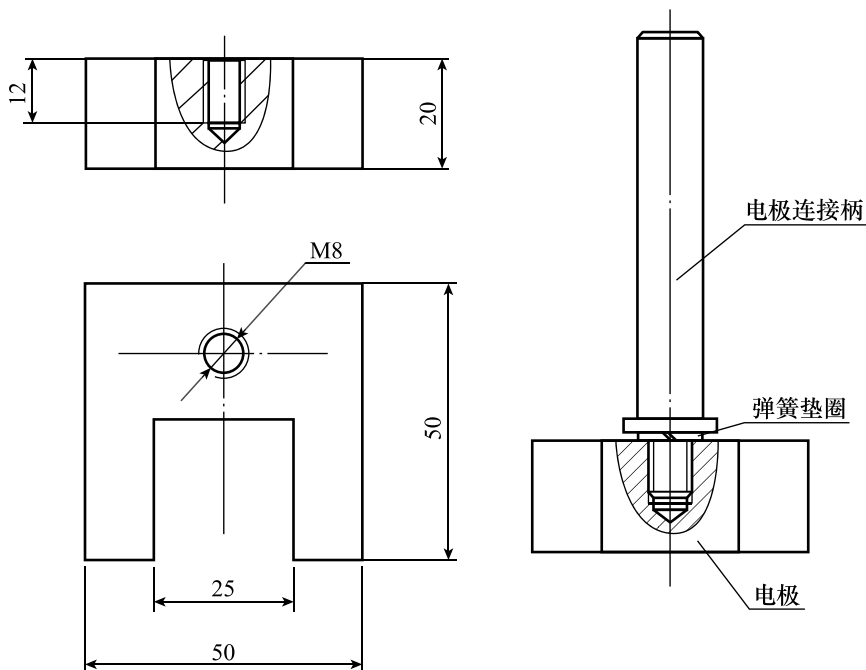
铜钨合金 含钨量较高，电极损耗小，机械加工成型也较容易，特别适用于钢、硬质合金等模具加工及特殊孔、槽的加工，是电加工中比较好的材料。缺点是价格较贵。机械加工过程平稳，并具有良好的耐磨性，能获得较好的加工质量。用于精密公差、精加工和低磨损加工。它具有较高的密度和强度，良好的导热性和导电性。

钨 钨具有高硬度和良好的磨损率。它被用于加工直径小于 0.2 mm 的小孔。缺点是成本较高。

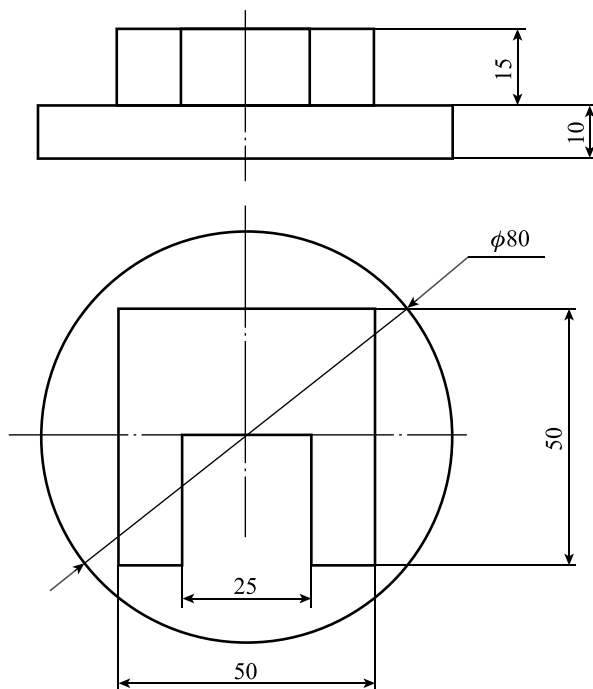
锌合金 锌合金主要用于大量生产，这时需要很多相同的电极，可通过压模铸造或冲压铸造。与其他加工电极的方法相比，形状复杂的电极可以用压铸的方法加工。在电流高达 150 A 的加工环境下，使用锌合金电极的成本低于使用其他材料的电极。锌合金的主要缺点是易磨损。

任务拓展 >>

如图 2-18 所示，图（a）为 U 形电极尺寸及安装图，图（b）为 U 形零件图，电极与零件两者之间无联系。分析该电极和零件如何装夹，在装夹及找正的过程中的注意事项有哪些，并叙述其操作步骤。



(a) 电极尺寸及安装图



(b) 零件

图 2-18 电极和零件

任务 3

异形单孔的电火花加工

任务描述 >>

图 2-19 为一异形单孔零件，材料为 45 钢。异形单孔由长方槽和一个圆孔相交构成，零件的主要尺寸：槽长为 30 mm，槽宽为 10 mm，槽深为 15 mm，槽中心位置与 $\phi 16$ mm 圆相交，形成两段圆弧，此零件尺寸公差无严格要求。

任务目标 >>

- 熟悉电火花成型机床异形电极的制作方法。
- 掌握电火花成型机床的加工原理。

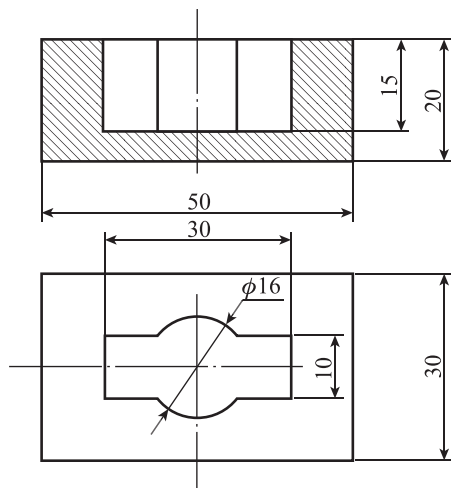


图 2-19 异形单孔零件

- 掌握电火花成型加工零点的设定。
- 掌握电火花成型加工的特点及适用范围。
- 了解电火花加工的主要用途。

任务实施 > >

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台, 型号为 D7140P。

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、0~150 mm 卡尺 1 把、0~150 mm 深度尺 1 把、精密角尺 1 把、平口虎钳 1 台、垫铁 1 套、外径百分表 1 块、磁力表座 1 套、组合工具 1 套。

(3) 毛坯

准备一块毛坯料, 尺寸不小于 55 mm×35 mm×25 mm, 利用数控铣床规方至零件外形尺寸, 加工异形槽, 单边加工余量留至 0.5 mm。

2. 任务分析

由图 2-19 可知, 此零件的异形孔大部分余量已经去除, 需要用电火花成型机床来加工的余量为单边 0.5 mm, 去除的余量不大。加工中注意电蚀物的排屑, 保证该零件的表面质量及加工效率。

3. 电火花成型机床的加工步骤

(1) 电极的制造

① 电极材料的选择: 本节加工零件的电极用紫铜来制造。

② 电极的制造: 电极采用电火花线切割加工成型, 其形状尺寸和电极的组装如图 2-20 所示, 电极与连接杆之间采用螺纹连接, 弹簧垫圈的作用是防止电极和连接杆之间松动, 电极通过连接杆安装在机床主轴上。

(2) 电极的安装与找正

将电极通过连接杆安装在机床主轴的钻夹头上, 用精密角尺对电极进行粗略找正; 利用外径百分表配合通用夹头上的调节螺母对电极进行精确找正。

(3) 工件的安装与找正

工件采用平口虎钳来装夹, 先将平口虎钳安装到机床工作台上, 将外径百分表固定到机床主轴头, 使外径百分表测量头接触到平口虎钳固定钳口的侧面, 配合机床手轮对平口虎钳进行找正, 并将平口虎钳固定螺栓锁紧。使用垫铁将工件高度调节至合适高度, 利用平口虎钳夹紧工件, 用铜锤轻轻敲击工件, 保证工件与垫铁完全接触, 且垫铁不松动, 锁紧平口虎钳, 至此工件安装完成。

(4) 电火花成型机床加工零点的设定

将 X、Y 轴程序零点设定在工件的中心, Z 轴零点设定到工件的上表面, 具体步骤

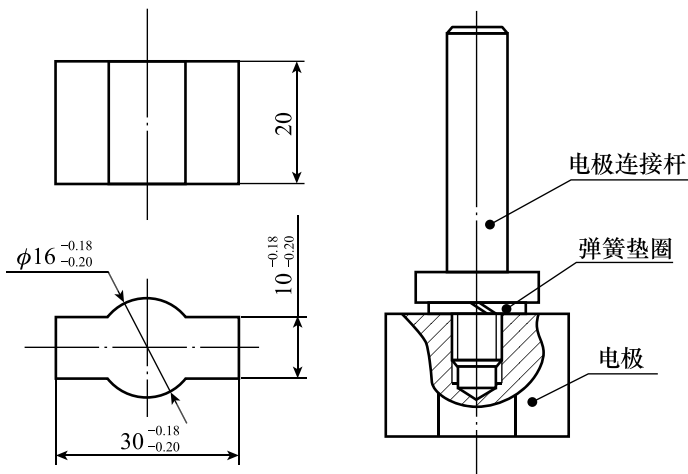


图 2-20 工具电极及组装图

如下：将机床手动对刀键  按下，利用工具电极接触工件的左端面，按下清零键 ，记下当前位置，再将工具电极移动到工件右侧，接触工件的右端面，然后按下  键，将 X 坐标值取一半，摇动手轮移动机床，直到显示屏上的数值变为“0”，该点即为 X 轴程序的零点； Y 轴的操作方法同 X 轴；设定 Z 轴零点时，先将对刀键  关闭，按下手操脉冲发生器上的  键，快速移动 Z 轴至零件表面以上约 10 mm 的位置，开启对刀键 ，将 Z 轴手动缓慢向下移动（或者直接按下机床自动对刀键 ，机床 Z 轴自动向下移动），直至工具电极接触到工件表面，机床自动停止，同时机床报警器开始报警，按下  清零键即可，至此程序零点的设定结束。

(5) 程序的编写

第一步：按下程序段号设定键 ，在对应的程序段号闪烁的状态下，按下清除键 ，将机床存储的程序清除；

第二步：按下程序段号设定键 ，在对应的程序段号闪烁的状态下，输入“0”，按确定键 ，设定 0 号程序段，完成粗加工程序的编写；

第三步：按下加工电流输入键 ，输入“5”并确定，设定本程序段的加工电流为 5 A；

第四步：按下加工深度输入键 ，输入“18.5”并确定，设定加工深度为 18.5 mm，其他参数采用系统默认值即可；

第五步：重复第二到第四步的操作，将程序段号设为“1”，加工电流设为“2”，加工深度设为“20”，按下高压重叠键 ，将数值修改为“1”，完成精加工程序的编写。

(6) 零件的加工过程

第一步：按下程序段号设定键  键，输入“0”，将 0 号程序段设为当前程序段；

第二步：按下自动多步加工键，在加工过程中系统执行完 0 号程序段，自动跳转到 1 号程序段继续向下执行程序，直到执行完所有程序段为止；

第三步：依次按下，打开工作液泵、防火报警和加工结束上抬键，按下加工开始键，开始执行程序。

在加工过程中，我们可以通过加工深度显示键和机床坐标值显示键相互切换，观察加工情况和坐标值显示情况，还可以通过手操脉冲发生器上的加工速度控制旋钮来调节加工速度的快慢。

4. 电火花成型机床操作步骤说明

- (1) 打开电源总开关和机床操作面板上的“急停”按钮，使用“RESET”复位键，使机床复位；
- (2) 将工件放于平口虎钳上校正并夹持固定；
- (3) 将电极按图纸相应的形状、方向装夹于机床夹头上，并校正电极；
- (4) 寻电极 X、Y 方向的中心点，将机床坐标清零，寻 Z 方向零点，清零；
- (5) 编写程序，设定相应的电规准；
- (6) 放油，自动执行加工程序；
- (7) 加工结束，取下工件并清理，用卡尺和深度尺测量并对照图纸检验；
- (8) 清理机床和工作现场，整理工、夹、量具；
- (9) 关闭机床，整个加工过程结束。

任务评价 > >

项目	内容及要求	好 (5 分)	较好 (4 分)	一般 (3 分)	较差 (2 分)	差 (1 分)	得分
1	能否完成电火花机床加工零点设定						
2	能否正确编写零件加工程序						
3	能否正确操作机床对零件进行加工						
4	对机床加工原理的掌握情况						
5	能否说出电火花机床加工特点及适用范围						
6	电火花机床的主要用途的掌握情况						

知识链接 > >

1. 电火花机床的加工原理

电火花加工与传统的机械加工方法不同，它是利用两极间脉冲放电时产生的电蚀现象对材料进行加工的，是一种利用电能和热能进行加工的新工艺，也称放电加工。

由于加工过程中有火花产生，所以称为电火花加工。

如图 2-21 所示，电火花加工时，脉冲电源的一极接工件电极，另一极接工具电极，两极均浸入具有一定绝缘度的液体介质（常用煤油、矿物油或去离子水）中。工具电极由自动进给调节装置（此处为电动机及丝杠螺母机构）控制，使工具和工件经常保持一个很小的放电间隙，当脉冲电压加到两极之间时，将极间最近点的液体介质击穿，形成放电通道，在该局部产生火花放电，瞬时高温使工具和工件表面都蚀除掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑。这样以很高频率连续不断地重复放电，工具电极不断地向工件进给，就会将工具的形状复制在工件上，加工出所需要的零件。

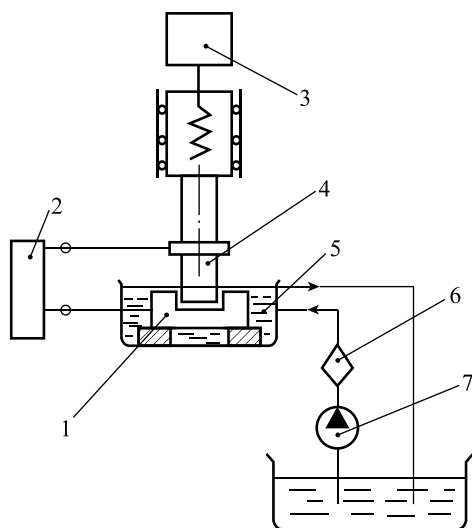


图 2-21 电火花加工基本原理

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

如图 2-22 所示，图（a）是单个脉冲放电后的电蚀坑，图（b）是多次脉冲放电后的电极表面。工具电极不断地向工件进给，会将工具的形状反向复制在工件上，加工出所需要的零件，整个加工表面是由无数个小凹坑所组成的。

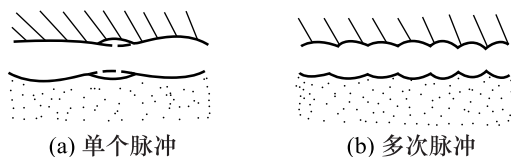


图 2-22 脉冲放电后的电极

2. 电火花加工的特点及适用范围

电火花加工是与机械加工完全不同的一种新工艺。随着工业生产的发展和科学技术的进步，具有高熔点、高硬度、高强度、高脆性、高黏性和高纯度等性能的新材料不

断出现。具有各种复杂结构与特殊工艺要求的工件越来越多，这就使得传统的机械加工方法不能加工或难以加工。电火花加工法能够适应生产发展的需要，在应用中显示出很多优异性能，因此，得到了迅速发展和广泛的应用。电火花加工的特点如下：

(1) 工具电极与工件不接触，两者之间宏观作用力极小。工具电极材料不需比工件材料硬，因此，工具电极制造容易。

(2) 电火花加工时，由于不是靠刀具的机械方法去除金属，加工时无任何机械力的作用，因此可以用来加工小孔、窄槽及各种复杂形状型孔和型腔。

(3) 由于电脉冲参数可以任意调节，故在同一台机床上可对零件进行粗、中、精加工及连续加工，节省了设备，提高了效率。

(4) 便于加工用普通的机械加工方法难以加工或无法加工的特殊材料和复杂形状的工件。不受材料硬度影响，不受热处理状况影响。

(5) 可以加工任何高强度、高硬度、高韧性、高脆性以及高纯度的导电材料。

(6) 在电火花加工过程中，需要制造精度高的电极，放电过程有部分能量消耗在工具电极上，导致电极损耗，影响成型精度，所以完成粗、精加工时要制造多个电极，增加了成本。

(7) 不能加工非导电性材料。

3. 电火花加工的主要用途

(1) 高硬度零件的加工，对于某些硬度要求较高的模具，或者是硬度要求特别高的滑块、顶块等零件，热处理后表面硬度高达 50 HRC 以上，采用传统的机械加工方式很难加工这么高硬度的零件。

(2) 型腔尖角部位加工，如锻模、热固定性和热塑性料模、压铸模、挤压模、橡皮模等各种模具的型腔常存在着一些尖角部位，这是因为在常规切削加工中存在刀具半径所以无法加工到位。

(3) 深腔部位的加工，由于机械加工时没有足够长度的刀具，或者这种刀具没有足够的刚性，不能加工具有高精度要求的零件，此时可以用电火花进行加工。

(4) 小孔加工，对各种圆形小孔、异形孔和畸形孔的加工，如线切割的穿丝孔，长深比非常大的深孔。

(5) 其他，如取出折断的工具（丝锥、铣刀、钻头等），在淬火件上穿孔，直接加工型面复杂的零件等。

任务拓展 >>

图 2-23 为一异形单孔零件，材料为 45 钢。异形单孔由长方槽和两个圆孔相交构成，零件的主要尺寸如图所示。要求：设计该零件加工的电极，提供电极及零件的装夹方案，编写零件的粗、半精及精加工 3 段程序，详细叙述电火花成型机床的操作

步骤。

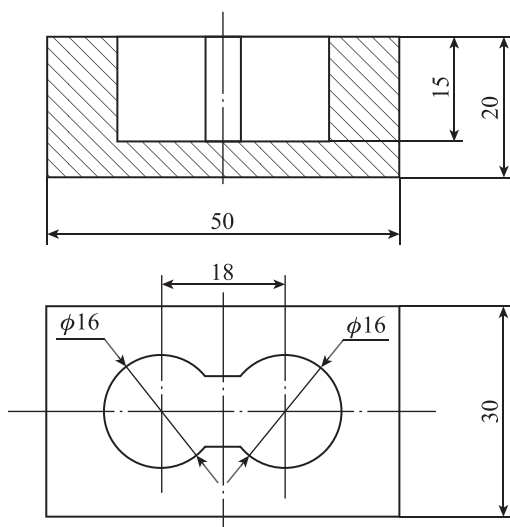


图 2-23 异形单孔零件

任务 4

排孔的电火花加工

任务描述 >>

图 2-24 为一板类零件，材料为 45 钢。该零件上表面有 3 个 $\phi 12$ mm 的圆孔和 2 个 $12\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 的方孔，沿零件对角线均匀分布，孔的深度为 5 mm，具体定位尺寸如图所示。

任务目标 >>

- 掌握排孔加工的编程及加工步骤。
- 熟悉电火花成型机床加工工艺。
- 了解工作液的用途与选择。
- 掌握电参数的选择原则。

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台，型号为 D7140P。

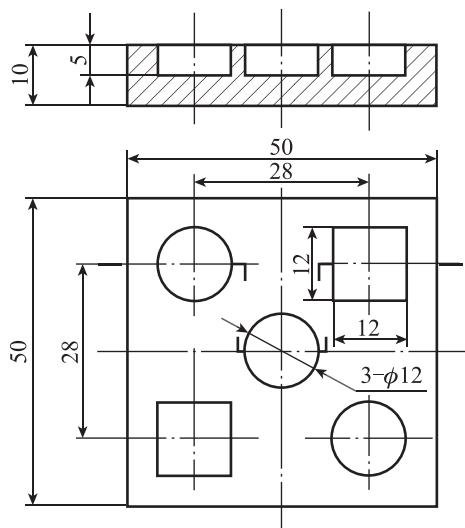


图 2-24 排孔加工零件

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、0~150 mm 卡尺 1 把、0~150 mm 深度尺 1 把、精密角尺 1 把、平口虎钳 1 台、垫铁 1 套、外径百分表 1 块、磁力表座 1 套、组合工具 1 套。

(3) 毛坯

准备一块 10 mm 厚的毛坯料，用电火花切割加工至 50 mm × 50 mm × 10 mm 的方形，再用磨床加工上、下表面，直至表面平整光滑。

2. 任务分析

由图 2-24 可知，此零件表面共有 5 个孔，分为圆形和方形两类，整体需要用电火花成型机床来加工，去除的余量大，所以我们要合理设定电规准，分粗、精两步对零件进行加工，加工过程中注意电蚀物的排屑，保证该零件的表面质量及加工效率。

3. 电火花成型机床的加工步骤

(1) 电极的制造

① 电极材料的选择：本任务加工零件的电极用紫铜来制造。

② 电极的制造：圆形电极采用数控车床一次加工成型，方形电极采用数控铣床一次加工成型，形状尺寸如图 2-25 所示，加工后的电极直接安装在机床主轴上即可使用。

(2) 电极的安装与找正

先将圆形电极安装在机床主轴的钻夹头上，用精密角尺对电极进行粗略找正；利用外径百分表配合通用夹头上的调节螺母对电极进行精确找正，加工零件图上的圆形孔。加工结束之后取下圆电极，将方形电极安装在机床主轴的钻夹头上，用精密角尺对电极进行粗略找正，利用外径百分表配合通用夹头上的调节螺母对电极进行精确找正，加工零件图上的方形孔。

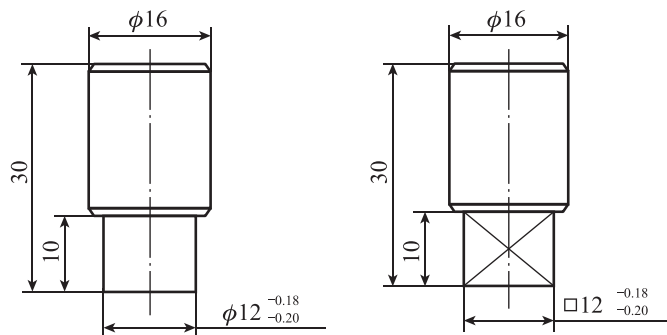


图 2-25 工具电极

(3) 工件的安装与找正

零件采用平口虎钳来装夹，先将平口虎钳安装到机床工作台上，使用外径百分表对平口虎钳的固定钳口进行找正，使其平行于机床的 X 轴。使用垫铁将工件高度调节至合适高度，因平口虎钳已经找正，利用平口虎钳夹紧工件即可。用铜锤轻轻敲击工件，保证工件与垫铁完全接触，且垫铁不松动，锁紧平口虎钳，工件安装完成。

(4) 电火花成型机床加工零点的设定

两电极采用同一个零点，即工件的中心。先将圆形电极安装到机床上，分别对 X 、 Y 轴进行对中，再将 Z 轴零点设定到工件上表面，即可加工圆形孔。加工结束后，换上方形电极，找正后重新设定加工零点，即可加工方形孔。

(5) 程序的编写

零件的加工过程分两步来完成：圆孔的粗、精加工和方孔的粗、精加工。由于两类孔的深度相同，只是采用的电极不同，所以可以使用同一程序加工。具体步骤如下：

把加工程序分为两段，程序段号设为 1、2。1 号程序段的加工电流设为 6 A，加工深度设为 4.5 mm，其他参数采用系统默认值；2 号程序段的加工电流设为 2 A，加工深度设为 5 mm，高压重叠设为 1，其他参数采用系统默认值，完成加工程序的编写。

(6) 零件的加工过程

第一步：安装圆形电极并找正，在 $X0$ 、 $Y0$ 位置加工第一个圆孔，调出 1 号程序段准备加工，依次按下自动多步加工键、工作液泵键、防火报警键和加工结束上抬键后，开始执行程序。

第二步：分别将机床移动到 $X14$ 、 $Y-14$ 和 $X-14$ 、 $Y14$ 两个坐标位置，执行加工程序。

第三步：卸下圆形电极，安装方形电极并找正，分别将机床移动到 $X14$ 、 $Y14$ 和 $X-14$ 、 $Y-14$ 两个坐标位置，执行加工程序。

4. 电火花成型机床操作步骤说明

(1) 打开电源总开关和机床操作面板上的“急停”按钮，使用“RESET”复位键，使机床复位；

- (2) 将工件放于平口虎钳上校正并夹持固定；
- (3) 将电极按图纸相应的形状、方向装夹于机床夹头上，并校正电极；
- (4) 寻电极 X 、 Y 方向的中心点，将机床坐标清零，寻 Z 方向零点，清零；
- (5) 编写程序，设定相应的电规准；
- (6) 放油，自动执行加工程序；
- (7) 加工结束，取下工件并清理，用卡尺和深度尺测量并对照图纸检验；
- (8) 清理机床和工作现场，整理工、夹、量具；
- (9) 关闭机床，整个加工过程结束。

任务评价 >>

项目	内容及要求	好 (5 分)	较好 (4 分)	一般 (3 分)	较差 (2 分)	差 (1 分)	得分
1	能否独立完成多孔加工程序的编写						
2	是否掌握电火花机床多步加工的操作方法						
3	电参数的选择原则的掌握情况						
4	电火花机床加工工艺知识的掌握情况						

知识链接 >>

1. 电火花工作液的主要作用及性能

- (1) 形成火花放电通道，并在放电结束后迅速恢复放电间隙的绝缘状态。
- (2) 压缩放电通道，并限制其扩展，使放电能量高度集中在极小的区域内，既加强了蚀除的效果，又提高了放电仿型的精确性。
- (3) 加快电极间隙的冷却和消电离过程，有助于防止出现破坏性电弧放电。
- (4) 加快电蚀产物的排出。
- (5) 低黏度，冷却性好，流动性好，加工碎屑容易排出。
- (6) 高闪火点、高沸点。闪火点高，不易起火；沸点高，不易汽化、损耗。
- (7) 气味小，加工中分解的气体无毒，对人体无害。
- (8) 对机床和工件无污染、无腐蚀，氧化安全性好。

2. 电火花加工对工作液的要求

- (1) 工作液应该保持干净，应采取循环措施，以免污染间隙。这是连续稳定加工的基本保证。当电火花加工进入到微米级精密领域后，工作液的纯净则更为重要。
- (2) 工作液应具有较好的流动性。较黏稠、流动性较差的工作液会使加工蚀除产物排出不及时，从而破坏加工的稳定性。
- (3) 工作液不应与工件和工具电极以及电加工机床设备之间有化学作用，以免腐

蚀机床和工件。因此，工作液多采用油类有机化合物。

3. 工作液的种类

(1) 油类有机化合物

采用油类（如机油、变压器油、锭子油、柴油、煤油或它们的混合物）作为工作液的好处是其成分含有碳元素，放电时在高温的作用下，工作液分解出一些含碳产物，可以起到降低工具电极损耗的作用。缺点是易挥发（如煤油、柴油等），气味较大，甚至会产生一些有害气体。

(2) 乳化液

其优点是成本低，配置简便，也有补偿工具电极损耗的作用且不腐蚀机床和零件。目前，乳化液多用于电火花线切割加工。

(3) 水

采用水作为工作液，具有流动性好、散热性好、不易起弧、不燃、无味和价廉的优点。水的纯度不同，在加工中有程度不同的电解作用。如果能合理地将电解作用利用起来，则可以适当提高加工速度和改善表面粗糙度；但是如果利用不当（如使用普通自来水），则会使加工精度降低，因此应尽量采用蒸馏水或去离子水。

4. 主要放电参数的功能及选择

(1) 电流

又叫低压电流，它主要决定加工速度和表面质量。电流的设定值越大，加工速度越快，表面粗糙度越大；反之，则加工速度越慢，表面粗糙度越小。加工时，可以根据放电加工的余量以及加工的实际情况来设定所需的电流。在公差允许范围内，尽量取大值，可提高加工效率。

(2) 脉冲宽度

设定值越小，则放电时间越短，加工频率越低，利于排渣，加工零件表面粗糙度越小，电极损耗越小；反之，放电频率越高，加工表面粗糙度越大，电极损耗越大，不利于排渣。在加工过程中，要根据实际情况配合电流和脉冲间隔的大小来使用。

(3) 脉冲间隔

设定值越小，则间歇时间越短，加工频率越高，但是较易积碳，不利于排渣，加工零件表面粗糙度越大，电极损耗越大；反之，放电频率越低，加工表面粗糙度越小，电极损耗越小，有利于排渣。在加工过程中，要根据实际情况配合电流和脉冲宽度的大小来使用。

任务拓展 > >

图 2-26 为一板类零件，材料为 45 钢。零件上面有 5 个相同的方孔，方孔的直边与零件成 45° 角，方孔的定位尺寸如图所示。要求：设计该零件加工的电极，提供电极

及零件的装夹方案,编写零件的粗、精加工两段程序,合理安排方孔的加工顺序,详细叙述排孔加工的操作步骤。

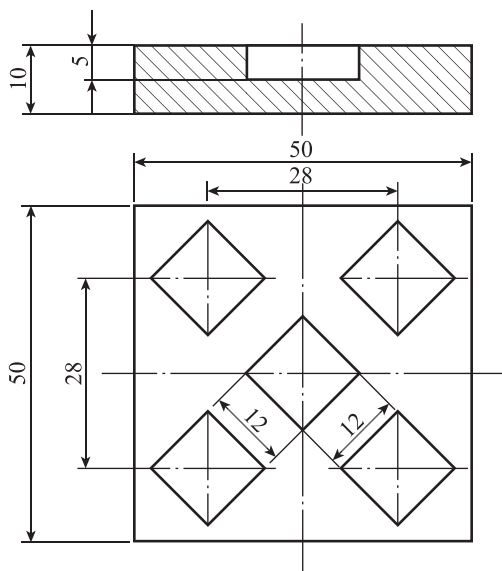


图 2-26 单孔排孔加工

任务 5

零件中断丝锥和钻头的电火花加工

任务描述 >>

图 2-27 为一浅槽类零件,材料为硅青铜,在加工螺纹过程中,不慎将丝锥弄断在螺纹孔中,丝锥为 M6。要求:将丝锥去除,并且保护零件不受到损坏。

任务目标 >>

- 掌握零件中断丝锥和钻头的去除方法。
- 熟悉程序的编写方法。

任务实施 >>

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台,型号为 D7140P。

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、精密角尺 1 把、平口虎钳 1 台、垫铁 1 套、外径百分表 1 块、磁力表座 1 套、组合工具 1 套。

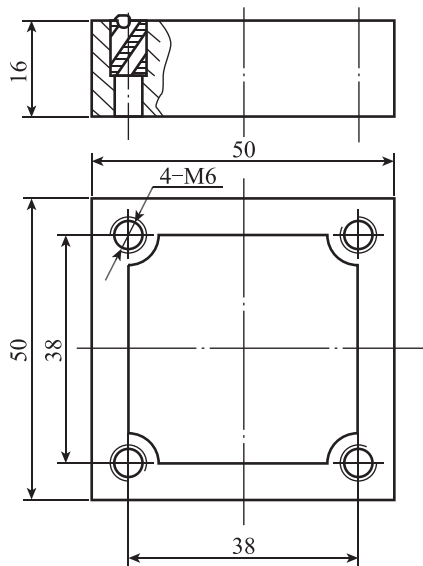


图 2-27 断丝锥零件

(3) 毛坯

如图 2-27 所示槽类零件。

2. 任务分析

图 2-27 为某工厂设备配件，在加工过程中，其他尺寸都满足使用要求，但是在最后一道工序中，工人在使用丝锥加工螺纹孔时，由于操作不当，将丝锥弄断在零件的光孔中。已知螺纹底孔为 $\phi 5.2$ mm，需要用电火花机床将其加工并取出，加工过程中不能损坏零件。所以在加工过程中，电极不能接触到工件，以免放电过程中电蚀到零件。

3. 电火花成型机床的加工步骤

(1) 电极的制造

① 电极材料的选择：本任务加工零件的电极用紫铜来制造。

② 电极的制造：电极采用数控车床一次加工成型，其形状、尺寸如图 2-28 所示。电极由两段阶梯轴组成， $\phi 8$ mm 段为电极柄，此段安装到机床钻夹头上， $\phi 4.8$ mm 长 25 mm 段是电极加工位置，此段用来加工零件中的断丝锥。

(2) 电极的安装与找正

先将阶梯形电极安装在机床主轴的钻夹头上，用精密角尺对电极进行粗略找正，利用外径百分表配合通用夹头上的调节螺母对电极进行精确找正。

(3) 工件的安装与找正

该零件采用平口虎钳来装夹，先将平口虎钳安装到机床工作台上，使用垫铁将工件高度调节至合适高度，利用平口虎钳夹紧工件，用铜锤轻轻敲击工件，保证工件与

垫铁完全接触，且垫铁不松动，锁紧平口虎钳，工件安装完成。

(4) 电火花成型机床加工零点的设定

先将电极安装到机床上，分别对 X 、 Y 轴进行对中，将加工零点设在零件的对称中心上，然后将 X 、 Y 轴移动到 $(-18, 18)$ 坐标点，再将 Z 轴零点设定到断丝锥的上表面，即可加工。

(5) 程序的编写

该零件的加工过程只需一步粗加工就可以完成，由于不知道断丝锥的长度，所以加工深度可以设为零件的厚度，加工过程中注意观察，断丝锥被完全去除即可停止程序。具体步骤如下：

设定一段加工程序，程序段号设为 1 号，程序段的加工电流设为 6 A，加工深度设为 16 mm，高压重叠设为“3”，其他参数采用系统默认值，完成加工程序的编写。

(6) 零件的加工过程

安装电极并找正，在 $X-18$ 、 $Y 18$ 位置，调出 1 号程序准备加工，依次按下自动、工作液泵、防火报警和加工结束上抬键后，开始执行程序。

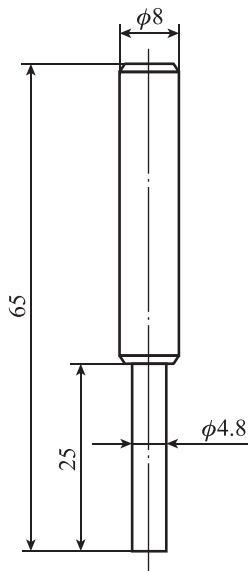


图 2-28 工具电极

4. 电火花成型机床操作步骤说明

- (1) 打开电源总开关和机床操作面板上的“急停”按钮，使用“RESET”复位键，使机床复位；
- (2) 将工件放于平口虎钳上校正并夹持固定；
- (3) 将电极装夹于机床夹头上，并校正电极；
- (4) 寻电极 X 、 Y 方向的中心点，将机床坐标清零，寻 Z 方向零点，清零；
- (5) 编写程序，设定相应的电规准；
- (6) 放油，自动执行加工程序；
- (7) 加工结束，取下工件并清理；
- (8) 清理机床和工作现场，整理工、夹、量具；
- (9) 关闭机床，整个加工过程结束。

任务评价 >>

项目	内容及要求	好 (5 分)	较好 (4 分)	一般 (3 分)	较差 (2 分)	差 (1 分)	得分
1	能否独立完成程序的编写						
2	能否独立完成程序加工起点的设定						
3	断丝锥去除方法掌握情况						
4	断丝锥去除电极的选择原则掌握情况						

知识链接 > >

电加工机床在我国的发展史

电加工机床自 20 世纪 50 年代在中国诞生以来，走过了漫长的发展道路，技术日益先进，应用越来越广。目前已在中国模具工业中占有十分重要的地位，每年都有 1 万多台新的电火花加工机床进入模具制造领域。

在模具型面加工中，电火花加工机床虽然受到高速铣削的严峻挑战，但由于其独特性能和技术的不断进步，电火花加工机床今后仍将在模具工业中发挥其独特的作用，并获得进一步的发展。20 世纪 50 年代以前，中国模具制造基本是用手工工具配以一般通用机床进行。50 年代后期，电加工工艺开始在模具制造中应用。从 60 年代初开始，电火花加工机床在模具制造中的应用不断发展，促进了模具制造技术的提高和模具工业的发展。随着电加工技术的不断发展，电加工在模具加工中所占比例逐步提高，电火花加工机床在模具工业的应用也越来越多。从 20 世纪 90 年代开始，随着高速加工在模具制造中的应用逐步发展，电加工机床的地位受到了挑战。但直到目前，电加工在模具制造中仍旧起着极其重要的作用。

我国第一台电火花加工机床诞生于 1954 年。1958 年研制成功的 DM5540 型电脉冲机床具有效率高、电极损耗小的优点，从而开始了电加工机床进入以模具加工为主的时期。“钢打钢”电加工工艺的研究成功解决了电极与冲头的配合问题，使电加工机床在模具（特别是冲压模具）加工中得到进一步应用。1965 年出现的晶体管脉冲电源的 D6140 电火花成型机床拓宽了电加工在型腔模具加工中的应用。可控硅电源和晶体管电源的电加工机床在 70 年代得到较大的发展，它们与不断完善的平动头相结合，使型腔模电火花平动工艺日趋成熟，促进了型腔模电火花加工的新发展。

随着数控技术的发展，20 世纪 80 年代电火花机床有了新的突破，陆续出现了一些高性能的数控电火花加工机床。我国还自行开发了脉冲电源、数控平动装置及工艺技术和低速走丝线切割技术，使我国的数控电火花加工得到迅速发展。随着中外合资企业生产电火花加工机床和引进数控电火花加工技术及机床，电火花加工机床在中国模具工业中的应用越来越多，作用也越来越重要。我国 90 年代生产的 HCX250、DK76、CC100、DK7632 等数控低速走丝线切割机床对冲压模具加工来说，无论从工艺、技术、功能、加工精度、效率、表面质量方面，还是对超硬材料的加工性能等方面都有很大提高。S205TNC、HCD400K、GW7452、SC110、SF310、B50 等一系列性价比极具竞争力的数控电火花成型机床的出现，使我国的电火花成型机床在模具工业的应用中，展示了它们的多功能、高精度、稳定可靠、价格适中等优点。

现在，电火花加工技术与模具制造已密不可分。一方面是电火花加工技术的发展为模具工业的发展创造良好的条件；另一方面是模具工业的发展，向电火花加工提出了越来越高的要求，促进了电火花加工技术的发展。两者相辅相成，相互促进，共同

发展。在现在的模具生产中，大约 1/3 的加工工作是由电火花加工机床完成的。由此可见它们在模具工业中的重要作用。

模具技术的发展越来越复杂，微细型腔越来越多，而且随着对模具寿命要求的不断提高，模具材料随之更新。对此，电火花加工机床有其独特的优越性。综上所述，电火花加工机床不但在过去和现在在模具工业中的应用十分广泛，而且今后也必将发挥其重要作用。

任务拓展 >>

图 2-29 为一盘类零件，材料为硅青铜，在加工孔的过程中，不慎将钻头弄断在零件中，零件具体尺寸如图所示。要求：将钻头去除，并且保护零件不受损坏。设计该零件加工的电极，提供电极及零件的装夹方案，编写零件的加工程序，详细叙述操作步骤。

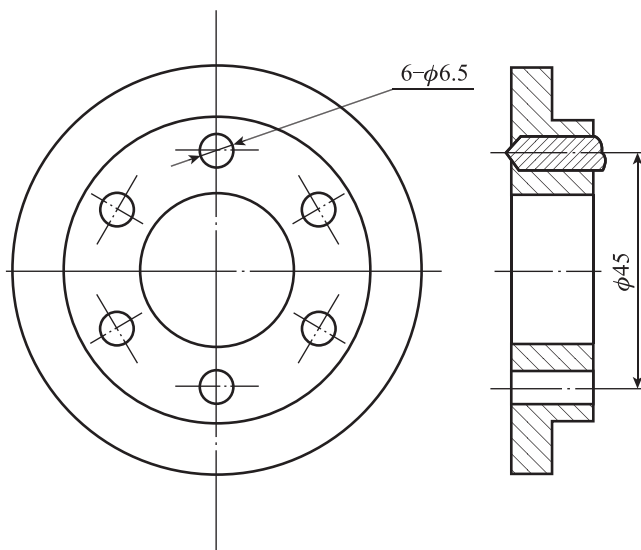


图 2-29 断钻头零件

任务 6

零件侧壁的圆孔和方孔的电火花加工

任务描述 >>

图 2-30 为一轴套类零件，材料为铸铁。零件的主要尺寸如图所示，在零件 $\phi 60$ mm 段侧壁上有一个 $\phi 10$ mm 的圆孔，侧壁厚度为 10 mm，圆孔中心距零件右端面 15 mm，

需要用电火花成型机床来加工，圆孔的尺寸公差无严格要求。

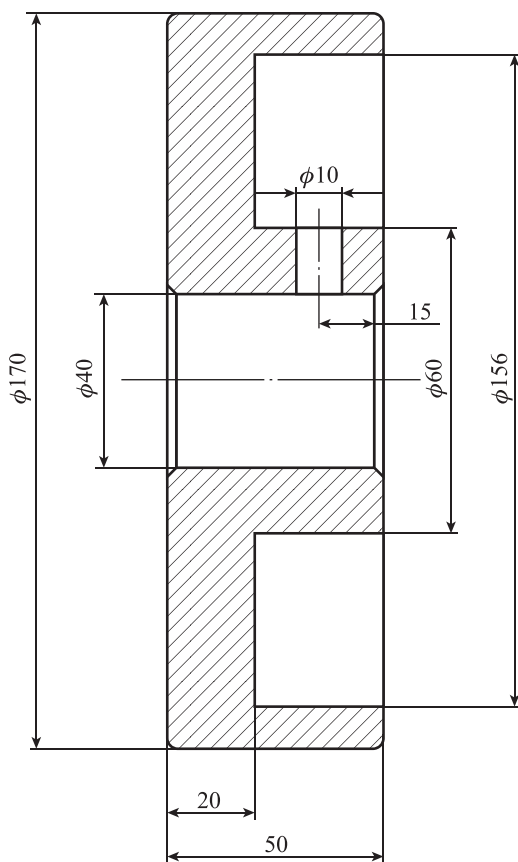


图 2-30 轴套侧壁孔零件

任务目标 >>

- 熟练掌握零件侧壁的圆孔和方孔的加工方法。
- 掌握加工零件侧壁的圆孔和方孔的找正方法。
- 掌握侧壁的圆孔和方孔零件电极的制作方法。

任务实施 >>

1. 设备、工具准备

(1) 设备

电火花成型机床 1 台，型号为 D7140P。

(2) 工、夹、量具

钻夹头 1 个、0~150 mm 卡尺 1 把、钢板尺 1 把、精密角尺 1 把、V 形铁 1 套、压板及垫铁 2 套、磁力表座 1 套、外径百分表 1 块、组合工具 1 套。

(3) 毛坯

如图 2-30 所示轴套侧壁孔零件。

2. 任务分析

图 2-30 所示是一套类零件，在零件的内侧壁上有一个 $\phi 10$ mm 圆孔，用来安装一定位检测原件，使用一般的机械加工方法（如铣床或钻床）无法加工该孔，所以采用电火花成型机床来加工。在加工过程中，电极不能与工件 $\phi 156$ mm 的上侧壁接触，以防损坏零件。

3. 电火花成型机床的加工步骤

(1) 电极的制造

① 电极材料的选择：本任务加工零件的电极用紫铜来制造。

② 电极的制造：电极形状如图 2-31 所示，它由电极柄、连接杆和电极三个部分组成，通过螺纹连接组装到一起，具体尺寸如图所示。电极的加工方法分为以下几步：

第一步：先用数控车床分别加工三段轴，其中电极柄和电极两部分，加工之后用板牙攻 M5 螺纹，注意保证同轴度；

第二步：用数控铣床加工连接杆两端的平面，保证两平面的相对位置为 180° ，并用中心钻加工 M5 螺纹孔的中心点；

第三步：用钻床加工连接杆两端 M5 底孔，用 M5 丝锥攻螺纹孔；

第四步：组装电极，保证电极的装配尺寸。

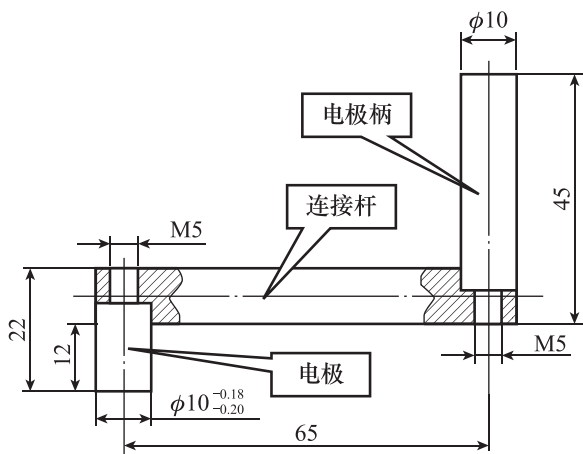


图 2-31 工具电极装配图

(2) 电极的安装与找正

将电极柄安装在机床主轴的钻夹头上，用精密角尺对电极进行粗略找正。先对连接杆进行找正，使其与 X 轴平行，将电极锁紧；再利用外径百分表配合通用夹头上的调节螺母对电极进行精确找正。

(3) 工件的安装与找正

该零件用 V 形铁配合压板来装夹，先用压板将 V 形铁安装到机床工作台上，注意 V 形铁的中心线方向要与 X 轴平行，用精密角尺初步找正，然后使用外径百分表精确找正，锁紧压板紧固螺母；最后把零件放到 V 形铁上，用压板夹紧，工件安装完成。

(4) 电火花成型机床加工零点的设定

第一步：先将电极安装到机床上，对 Y 轴进行对中，用电极寻工件两边，取 $1/2$ ，即为 Y 轴零点；

第二步：设定 X 轴加工零点，将机床移动至 Y 坐标零点，用电极碰零件右端面，当机床报警后，将 X 坐标值清零，将 Z 轴抬到适当位置（ $\phi 60\text{ mm}$ 与 $\phi 156\text{ mm}$ 之间），移动机床 X 轴，移动距离为 $15\text{ mm} + \text{电极半径}$ ，电极半径以实际测量值为准，将 X 坐标清零；

第三步：将 Z 轴零点设定到 $\phi 60\text{ mm}$ 轴径表面，采用自动对刀方法，电极接触到工件将 Z 轴清零即可。

(5) 程序的编写

该零件的加工过程只需一步粗加工就可以完成零件加工表面为弧形，因此加工深度一定大于 10 mm ，计算的加工深度约为 10.64 mm ，具体步骤如下：

设定一段加工程序，程序段号设为 0 号，程序段的加工电流设为 10 A ，加工深度设为 11 mm ，高压重叠设为“ 3 ”，其他参数采用系统默认值，完成加工程序的编写。

(6) 零件的加工过程

安装电极并找正。在加工零点位置，调出 0 号程序准备加工，依次按下自动、工作液泵和防火报警键后，开始执行程序。注意不要开启“加工结束上抬键”，防止加工结束后电极与工件发生碰撞。

4. 电火花成型机床操作步骤说明

- (1) 打开电源总开关，打开机床操作面板上的“急停”按钮，使用“RESET”复位键，使机床复位；
- (2) 将电极装夹于机床夹头上，并校正电极；
- (3) 安装 V 形铁并找正；
- (4) 将工件放于 V 形铁上夹持固定；
- (5) 寻电极 X 、 Y 、 Z 方向的零点，将机床坐标清零；
- (6) 编写程序，设定相应的电规准；
- (7) 放油，自动执行加工程序；
- (8) 加工结束，取下工件并清理；
- (9) 清理机床和工作现场，整理工、夹、量具；
- (10) 关闭机床，整个加工过程结束。

任务评价 > >

项目	内容及要求	好 (5分)	较好 (4分)	一般 (3分)	较差 (2分)	差 (1分)	得分
1	能否独立完成 V 形铁的安装与找正						
2	能否独立完成电极的加工与组装						
3	能否独立完成电极的找正过程						
4	侧壁孔加工程序的编写的掌握情况						

知识链接 > >**影响电火花加工工件表面质量的原因分析**

1. 由于工件材料不同，熔点、汽化点、导热系数等都不一样，因而即使按同样的方式加工，所获得的工件表面质量也不相同，因此必须根据表面质量的实际需要，对工件材料做选择。

2. 工件材料内部残余应力对加工的影响较大，在对热处理后的材料进行加工时，大面积去除金属和切断加工会使材料内部残余应力的相对平衡受到破坏，从而可能影响零件的加工精度和表面质量。

3. 在加工过程中，应将各项参数调到最佳状态，还应注意倾听机床发出的声音，正常加工的声音应为很光滑的“哧哧”声。同时，正常加工时，数控电火花机床的电流表、电压表的指针应该振幅很小，处于稳定状态，此时进给速度均匀而且平稳。

4. 在电火花机床加工中，模具一般会采用粗、中、精的加工方式。粗加工采用大功率、低损耗的方式实现，而中、精加工电极相对损耗大，但一般情况下，中、精加工余量较少，因此电极损耗也极小，可以通过控制加工尺寸进行补偿，或在不影响精度要求时予以忽略。

5. 电火花机床加工在产生碳渣和排出碳渣平衡的条件下才能顺利进行。实际中，往往以牺牲加工速度去排出碳渣。例如，在中、精加工时采用高电压、大休止脉波等等。另一个影响排出碳渣的原因是加工面形状复杂，使排屑路径不畅通。必须积极开创良好的排出条件，采取一些方法来积极处理。

6. 电火花机床放电脉冲时间长，有利于降低电极损耗。电火花机床粗加工一般采用长放电脉冲和大电流放电，加工速度快电极损耗小。在精加工时，小电流放电必须减小放电脉冲时间，否则不仅加大了电极损耗，也大幅度降低了加工速度。

任务拓展 > >

图 2-32 为一轴套类零件，材料为黄铜。零件的主要尺寸如图所示，在零件 $\phi 70$ mm 段侧壁上有一个 10 mm 的方孔，侧壁厚度为 15 mm，方孔中心距零件右端面 15 mm，需要用电火花成型机床来加工。要求：简述该零件的加工过程，设计该零件加工的电极，提供电极及零件的装夹方案 and 找正过程，编写零件的加工程序，详细叙述方孔加工的操作步骤。

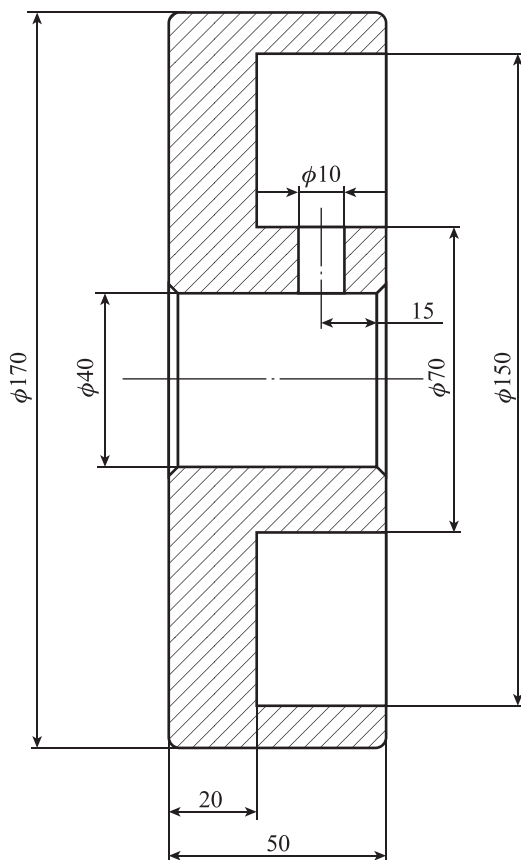


图 2-32 轴套侧壁孔零件

单元小结

本单元主要讲述了 D7140P 电火花成型机床的基础知识，包括电火花成型机床的结构形式，机床的基本操作、安全操作规程及日常维护与保养，电火花加工过程中的常用术语，加工原理、加工特点及适用范围，电火花加工的加工工艺，工作液的用途与选用及电参数的选择原则等内容。重点讲述了电火花机床电极的安装与找正，常用的电极材料，简单形状的电极制作过程，常用夹具的找正与使用，零件的安装与找正，加工零点的设定，机床编程及操作方法，常见简单零件，如微细单孔、异形孔、排孔、断工具的去除和侧壁孔的加工与装夹方法。通过上述内容的学习，读者对电火花成型机床有了初步的认识与了解，能够独立操作机床，编写常见零件的加工程序，正确地选用及设定参数，对常见的电极和零件进行安装、找正并且完成零件的整套加工过程。

职业技能知识点考核

一、填空题

1. 电火花加工系统主要由_____、_____、_____几部分组成。
2. 电火花加工原理是基于_____, 来蚀除多余的金属, 以达到对零件的尺寸、形状和表面质量等预定的加工要求。
3. 电火花加工的自动进给调节系统主要由以下几部分组成: _____、_____, 放大驱动环节、_____, 调节对象。
4. 电火花成型加工的自动进给调节系统, 主要包含_____和_____。
5. 电火花加工是利用电火花放电腐蚀金属的原理, 用工具电极对工件进行复制加工的工艺方法, 其应用范围分为两大类: _____和_____。

二、选择题

1. 零件渗碳后, 一般需要经() 处理, 才能达到表面硬且耐磨的要求。
A. 淬火 + 低温回火 B. 正火 C. 调质 D. 时效
2. 电火花加工的特点有()。
A. 不受材料硬度的限制 B. 电极和工件之间的作用力大
C. 操作容易, 便于自动加工 D. 加工部分不易形成残留变质层
3. 要使脉冲放电能够用于尺寸加工, 必须满足() 的条件。
A. 工具电极和工件表面之间放电间隙尽量小
B. 脉冲放电具有脉冲性、间歇性
C. 要持续放电
D. 脉冲放电在具有一定绝缘性能的液体介质中进行
4. 测量与反馈装置的作用是为了()。
A. 提高机床的安全性 B. 提高机床的使用寿命
C. 提高机床的定位精度、加工精度 D. 提高机床的灵活性
5. 要提高电加工的工件表面质量, 应考虑()。
A. 脉冲宽度增大 B. 电流峰值减小
C. 单个脉冲能量减小 D. 放电间隙增大

三、判断题

1. 电火花成型加工和穿孔加工相比, 前者要求电规准的调节范围相对较大。 ()
2. 电火花成型加工属于盲孔加工, 工作液循环困难, 电蚀产物排屑条件差。 ()
3. 电火花加工的粗规准一般选取的是窄脉冲、高峰值电流。 ()

4. 在采取适当的工艺保证后，数控线切割也可以加工盲孔。 ()
5. 电火花加工误差的大小与放电间隙的大小有极大的关系。 ()
6. 当负极的蚀除量大于正极时，工件应接正极，工具电极应接负极，形成“正极性”加工。 ()

四、简答题

1. 简述电火花加工的应用场合。
2. 在电火花加工中，工作液的作用有哪些？
3. 简述电火花加工用的脉冲电源的作用和输出要求。