

特种加工基础

北京航空航天大学 工程训练中心

陈娇娇

目录

■ 特种加工技术特点

■ 特种加工技术分类

■ 特种加工技术方法

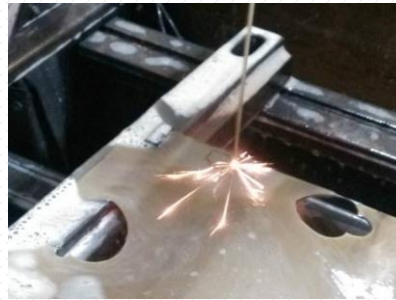
一、特种加工技术特点

随着科学技术的发展, 新型材料层出不穷, 各种产品逐渐向**高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化**等方向发展, 由此对机械加工提出了新的要求, 从而产生了不是主要依靠机械能, 而是利用光、电、化学等**非机械能**进行加工的方法。

特种加工

非传统加工

非常规机械加工



3

一、特种加工技术特点

1. 特种加工的产生

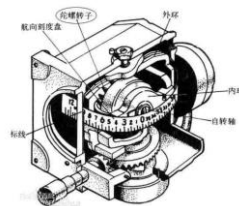
生产的发展和科技的进步, 对机械制造部门提出了新的要求:

1) 解决各种难切削材料的加工问题

硬质合金、钛合金、耐热钢、不锈钢、淬火钢、金刚石等
高硬度、高强度、高韧性、高脆性

2) 解决各种特殊复杂表面的加工问题

3) 解决各种超精、光整或具有特殊要求的零件的加工问题



4

一、特种加工技术特点

2. 特种加工的特点

特种加工产生和发展的原因,在于它具有切削加工所不具有的本质和特点。

切削加工的本质和特点:一是靠刀具材料比工件更硬;二是靠机械能把工件上多余的材料切除。

与切削加工的不同点如下:

- 1)不是主要依靠机械能,而是主要用其他能量(如电、化学、光、声、热等)去除材料。
- 2)工具硬度可以低于被加工材料的硬度。
- 3)加工过程中工具和工件之间不存在显著的机械切削力。可获得很低的表面粗糙度。

5

一、特种加工技术特点

3. 特种加工对机械制造的影响

特种加工可以加工任何硬度、强度、韧性、脆性的金属或非金属材料,且专长于加工复杂、微细表面和低刚度零件。同时,有些方法还可用以进行超精加工、镜面光整加工和纳米级加工。

1)提高了材料的可加工性

材料的可加工性不再与硬度、强度、韧性、脆性等成直接、正比关系;加工范围从普通材料发展到硬质合金、超硬材料和特殊材料。

2)改变了零件的典型工艺路线

通常切削加工、成型加工等都必须安排在淬火热处理工序之前。特种加工的出现,改变了这种一成不变的程序格式。

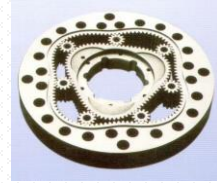
6

一、特种加工技术特点

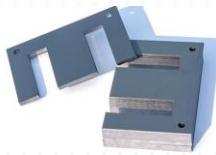
3)特种加工改变了试制新产品的模式。

如采用数控电火花线切割,可以直接加工出各种特殊、复杂的二次曲面体零件。这样可以省去设计和制造相应的刀、夹、量具、模具及二次工具,大大缩短了试制周期。

快速成型技术,更是试制新产品的必要手段,改变了过去传统的产品试制模式。



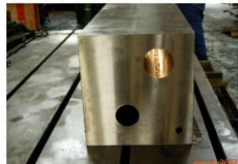
4)特种加工对产品零件的结构设计带来很大的影响。



7

一、特种加工技术特点

5)对传统结构工艺性的好与坏,需要重新衡量。



6)特种加工已经成为微细加工和纳米加工的主要手段

微细加工和纳米加工技术

8

目
录

■ 特种加工技术特点

■ 特种加工技术分类

■ 特种加工技术方法

二、特种加工技术分类

特 种 加 工 方 法		能 量 来 源 及 形 式	作 用 原 理
电火花加工	电火花成型加工	电能、热能	熔化、汽化
	电火花线切割加工	电能、热能	熔化、汽化
电化学加工	电解加工	电化学能	金属离子阳极溶解
	电解磨削	电化学能、机械能	阳极溶解、磨削
	电 铸	电化学能	金属离子阴极沉淀
	涂 镀	电化学能	金属离子阴极沉淀
激光加工	激光切割、打孔	光能、热能	熔化、汽化
	激光处理、表面改性	光能、热能	熔化、相变
电子束加工	切割、打孔、焊接	电能、热能	熔化、汽化
离子束加工	蚀刻、镀覆、注入	电能、动能	原子撞击
等离子弧加工	切割（喷镀）	电能、热能	熔化、汽化（涂覆）
超声加工	切割、打孔、雕刻	声能、机械能	磨料高频撞击
化学加工	化学铣削	化学能	腐 蚀
	光 刻	化学能	光化学腐蚀

二、特种加工技术分类

几种常见特种加工方法的综合比较

加工方法	可加工材料	工具损耗率/% (最低/平均)	材料去除率/ (mm ³ /min) (平均/最高)	可达到尺寸 精度/mm (平均/最高)	可达到表面粗糙度 Ra/μm (平均/最高)	主要适用范围
电火花 成型加工	任何导电金属材料,如 硬质合金钢、 耐热钢、不锈 钢、淬火钢、 钛合金等	0.1/10	30/3000	0.03/0.003	10/0.04	从数微米的孔、槽到 数米的超大型模具、工 件等,如各种类型的孔、 各种类型的模具
电火花线 切割加工		较小(可补偿)	20/200 [*] (mm ² /min)	0.02/0.002	5/0.32	切割各种二维及三维 直纹面组成的模具及零 件,也常用于钼、钨、 半导体材料或贵重金属 切削
电解加工		不损耗	100/10000	0.1/0.01	1.25/0.16	从微小零件到超大型 工件、模具的加工,如 型孔、型腔、抛光、去 毛刺等

依据工件材料、尺寸、形状、精度、生产率、经济性等情况
作具体分析、区别对待,合理选择特种加工方法

11

二、特种加工技术分类

电解磨削		1/50	1/100	0.02/0.001	1.25/0.04	硬质合金钢等难加工 材料的磨削,如硬质合 金刀具、量具等
超声波 加工	任何脆性 材料	0.1/10	1/50	0.03/0.005	0.63/0.16	加工脆硬材料,如玻 璃、石英、宝石、金刚 石、硅等,可加工型孔、 型腔、小孔等
激光加工	任何材料	不损耗(三种 加工,没有成型 用的工具)	瞬 时 去 除 率很高,受功 率限制,平均 去除率不高	0.01/0.001	10/1.25	精密加工小孔、窄缝 及成型切割、蚀刻,如 金刚石拉丝模、钟表宝 石轴承等
电子束 加工						在各种难加工材料上 打微小孔、切缝、蚀刻、 焊接等,常用于制造大、 中规模集成电路微电子 器件
离子束 加工			很低	/0.01 μm	/0.01	对零件表面进行超精 密、超微量加工、抛光、 蚀蚀、掺杂、镀膜等

12

目录

■ 特种加工技术特点

■ 特种加工技术分类

■ 特种加工技术方法

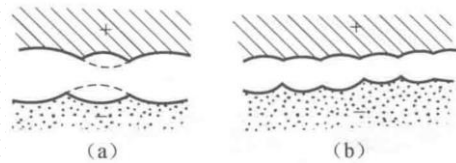
三、特种加工技术方法

- 电火花成型加工
- 电火花线切割加工
- 激光加工
- 电化学加工
- 超声波加工
- 快速成型技
- 电子束加工
- 离子束加工

1-电火花成型加工和线切割加工

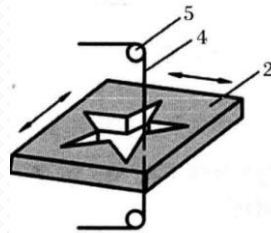
● 电火花成型加工

主要机理:电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热能,达到很高的温度,使金属材料局部熔化、汽化而被蚀除掉,形成放电凹坑。在电火花成型加工机床系统的控制下,将工具电极的形状复制在工件上。



● 电火花线切割加工

主要原理: 利用金属线状工具电极(又称电极丝)沿着给定的几何图形轨迹,进行脉冲放电蚀除金属的原理来加工工件,无需制作成型电极,大大降低了成型工具电极的设计和制造费用,可缩短生产周期。



15

2-激光加工

● 激光加工

强度高、方向性好、单色性好

激光加工是把高能量密度的激光束照射到工件上,在光热效应下工件局部产生高温熔融并受冲击波作用抛出的综合作用过程。

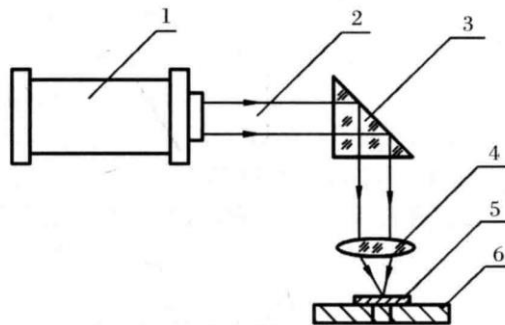
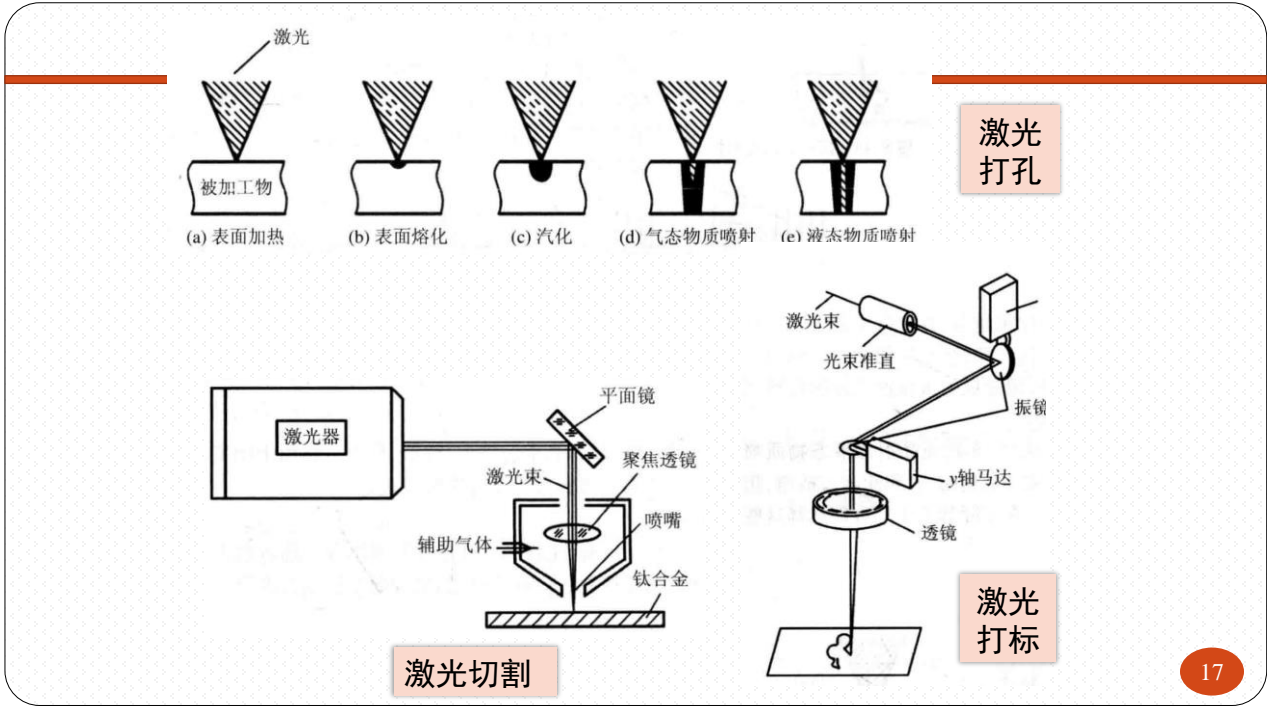


图 8.11 激光加工示意图

1—激光器;2—激光束;3—全反射棱镜;4—聚焦物镜;5—工件;6—工作台

16



3-电化学加工

● 电化学加工

电化学加工是指在电解液中，利用金属工件作为阳极所发生的电化学反应（也就是**电解作用**）进行加工的方法。

加工特点是：加工速度快，工件的表面光洁度高，加工的工具几乎无磨损，加工材料不受切削性能的限制及加工时工件不产生热变形、裂纹等。

适用范围：适用于制造形状复杂的型面型腔，广泛用于模具制造及燃气轮机、火箭、武器等制造工业中。

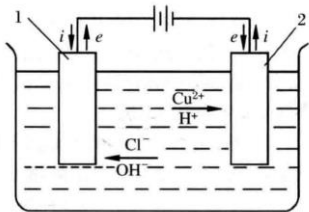


图 8.1 电化学反应的基本原理
1—阳极；2—阴极

表 8.1 电化学加工的分类

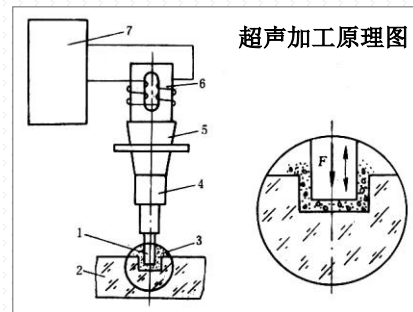
类别	加工原理	加工方法	应用场合
I	阳极溶解	电解加工	用于零件外形尺寸加工，如涡轮发动机叶片
		电化学抛光	用于表面光整、去毛刺加工等
II	阴极沉积	电镀	用于表面加工、装饰及保护
		电刷镀	用于表面局部快速修复及强化
		电铸	用于复杂形状电极及精密纹路模具制造
III	复合加工	电解磨削	用于零件外形尺寸加工及超精、光整、镜面加工
		超声波电解复合加工	用于难加工材料的细深孔与表面光整加工
		电火花电解复合加工	用于零件外形尺寸加工

4-超声波加工

● 超声波加工

超声加工是磨粒在超声振动作用下的机械撞击和抛磨作用的结果，**磨粒的撞击作用**是主要的。

- 适合加工各种**硬脆**材料，特别是**不导电**的非金属材料
- 工具可用软材料
- 加工精度高、表面粗糙度小、加工质量好
- 工具和工件无需复杂的相对运动，超声加工机床结构简单
- 工件表面宏观切削力很小，切削应力、切削热很小，不会引起变形和烧伤



19

5-快速成型技术

● 快速成型技术

快速成型技术是在计算机控制与管理下根据零件CAD模型，采用**材料精确堆积**的方法制造原型或零件的技术，是一种基于离散/堆积成型原理的新型制造方法。

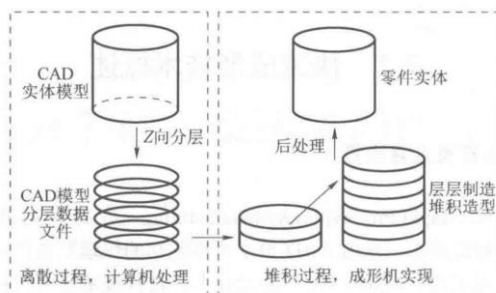


图 7-2 快速成型技术原理图

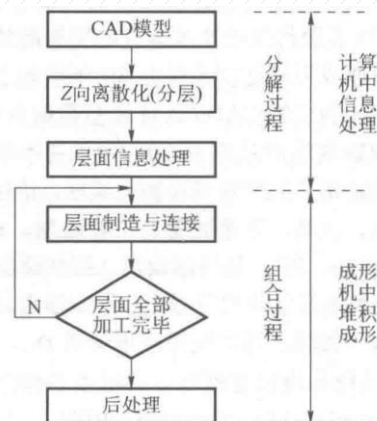


图 7-3 快速成型的基本过程

20

6-电子束加工

● 电子束加工

电子束加工是利用高速电子的冲击动能来加工工件的。在真空条件下，将具有很高速度和能量的电子束聚焦到被加工材料上，电子的动能绝大部分转变成热能，使材料局部瞬时熔融、汽化蒸发而被去除。

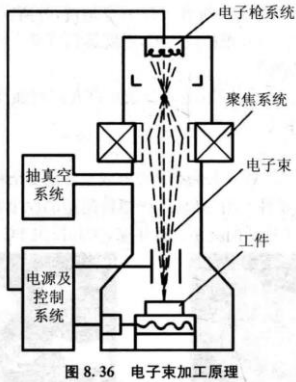


图 8.36 电子束加工原理

热处理、焊接、穿孔、刻槽和切割、光刻

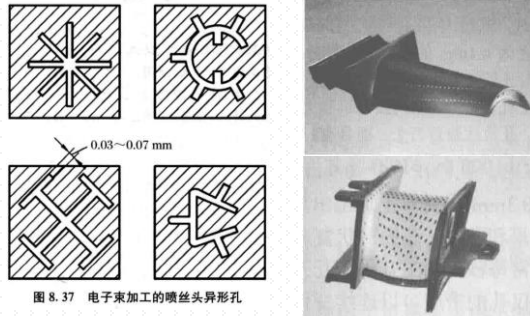


图 8.37 电子束加工的喷嘴头异形孔

21

7-离子束加工

● 离子束加工

离子束加工（ion beam machining, IBM）是在真空条件下利用离子源产生的离子经加速聚焦形成高能离子束流投射到工件表面，使材料变形、破坏、分离以达到加工目的。离子束撞击工件将引起变形、分离、破坏等机械作用，而不像电子束是通过热效应进行加工。

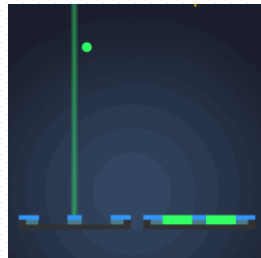
最精密

最细微

离子刻蚀
离子镀膜
离子注入



图 5-31 溅射镀膜产品效果图



22

电火花线切割

北京航空航天大学 工程训练中心

陈娇娇

目录

■电火花加工

■线切割加工原理及特点

■线切割加工适用范围

■线切割机床组成

■caxa绘图软件的运用

■加工实体零件

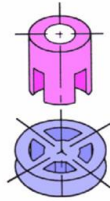
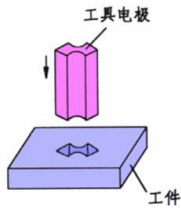
一、电火花加工

电火花加工是在一定的液体介质中，利用正负电极间脉冲放电时的电腐蚀现象对导电材料进行加工，从而使零件的尺寸、形状和表面质量达到技术要求的一种加工方法。

电蚀

放电加工、电蚀加工

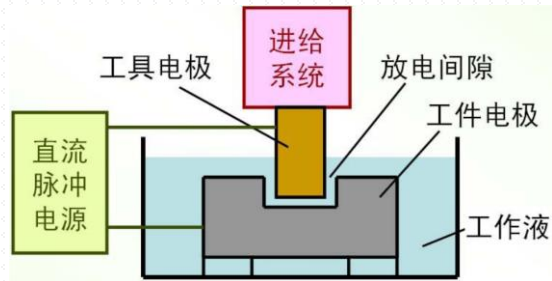
极性效应



25

一、电火花加工

■ 电火花加工的基本原理



■ 电火花加工的条件

- 必须采用脉冲电源, 以形成瞬时脉冲放电
- 必须采用自动进给调节装置, 以保持工具电极与工件间微小的放电间隙。
- 火花放电必须在具有一定绝缘强度的液体介质中进行。

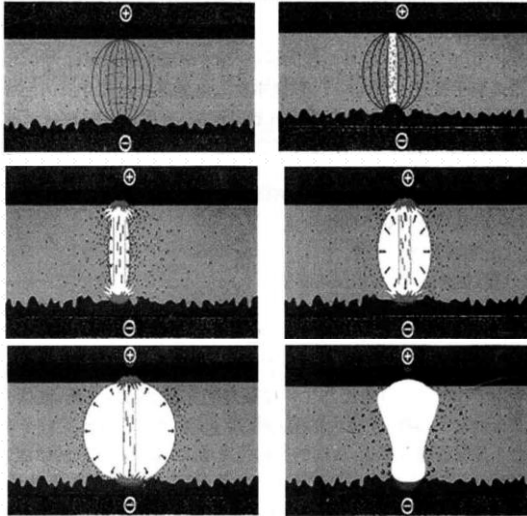
■ 电火花加工的种类

电火花线切割、电火花成形、电火花穿孔、电火花强化等

26

一、电火花加工

■ 电火花加工基本过程



极间介质击穿形
成放电通道



极材料的熔化、
汽化及热膨胀



电极材料抛出



极间介质的消电离

27

一、电火花加工

电火花线切割加工(Wire Cut EDM, WEDM)简称线切割加工, 是在电火花加工基础上发展起来的一种新的工艺形式。

◆ 线切割加工的构思

- ✓ 采用简单的**线状**电极替代成型电极

→ 简化电极的制作

- ✓ 电极丝源源不断地贯穿工件的加工区

→ 电极损耗得以均匀分布, 减少或得到补偿

28

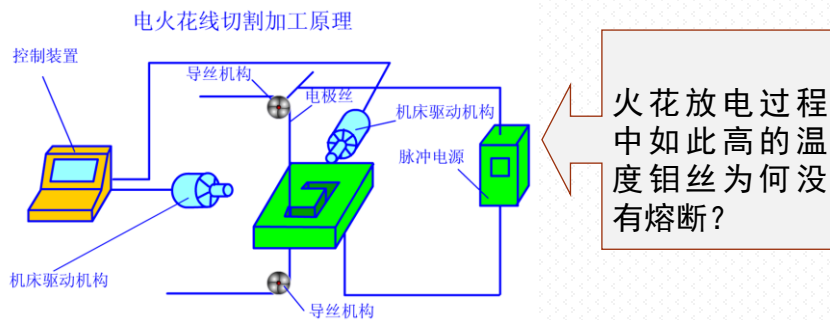
目录

- 电火花加工
- 线切割加工原理及特点
- 线切割加工适用范围
- 线切割机床组成
- caxa绘图软件的运用
- 加工实体零件

二. 线切割加工原理及特点

(1) 原理

电火花线切割加工的基本原理是利用一根运动的细金属导线(铜丝或钼丝)作工具电极,在工件与金属丝间通以脉冲电流,靠电火花对工件进行切割加工。



电离→放电→热膨胀(爆炸)→抛处金属(形成凹坑)→消电离

二. 线切割加工原理及特点

(2)特点

- ①工件必须是**导电材料**；
- ②工具电极和工件之间不直接接触，几乎没有切削力，所以加工的材料可以选用**高硬度的材料**（一般加工工件都可在淬火后进行）；
- ③加工对象主要是**平面形状**，当机床上加上能使电极丝作相应倾斜运动的功能后，也可以加工锥面。但是不能加工盲孔；
- ④自动化程度高、操作方便，易于实现**自动化**；
- ⑤不需要制造成形电极，用简单的**电极丝**即可对工件加工。
- ⑥工件**被加工表面受热影响小**,适合于加工热敏感性材料

31

目录

- 电火花加工
- 线切割加工原理及特点
- 线切割加工适用范围**
- 线切割机床组成
- caxa绘图软件的运用
- 加工实体零件

三. 线切割加工适用范围

(1) 高硬度、形状复杂零件、贵重金属成型加工

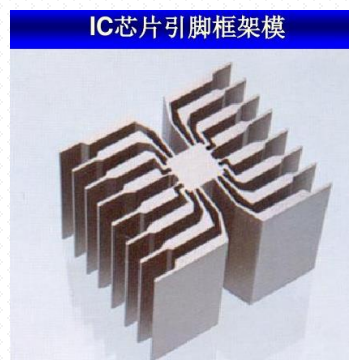


33

三. 线切割加工适用范围

(2) 加工模具

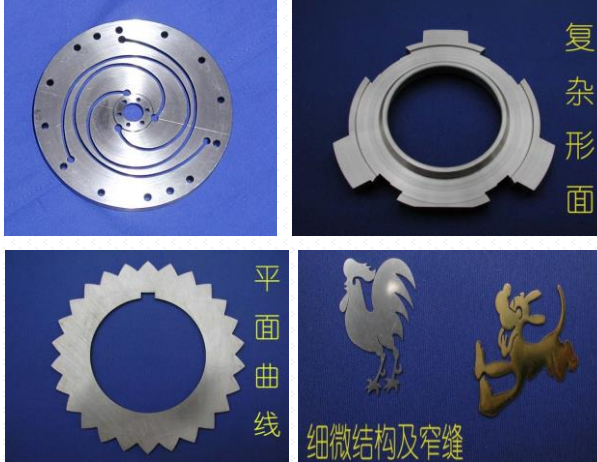
适用于加工各种形状的冲模。调整不同的间隙补偿量，只需一次编程就可以切割凸模、凸模固定板、凹模及卸料板等。模具配合间隙、加工精度通常都能达到要求。此外，还可以加工挤压模、粉末冶金模、弯曲模、塑压模等通常带锥度的模具。



34

三. 线切割加工适用范围

3、微细结构和复杂型零件



4、加工试验品

35

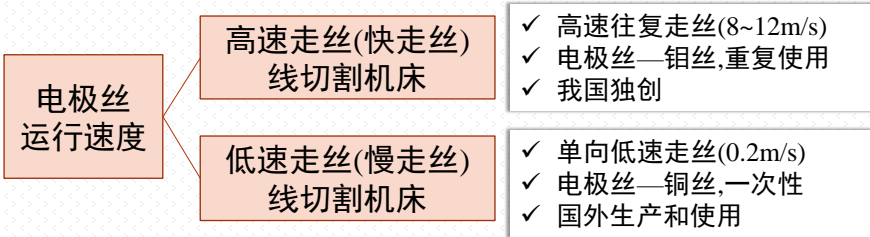
目录

- 电火花加工
- 线切割加工原理及特点
- 线切割加工适用范围
- 线切割机床简介
- caxa绘图软件的运用
- 加工实体零件

36

四. 线切割机床简介

(1) 线切割机床分类



DK7732型



AQ系列的低速线切割机床

37

四. 线切割机床简介

(2) 低速与高速线切割机床的比较

低速走丝线切割机床与高速走丝线切割机床在结构组成上基本一致，不同之处在于：

- 高速走丝是往复双向；低速走丝线切割机床是单向运丝，而且电极丝（一般为黄铜丝）只使用一次。
- 低速走丝线切割机床工艺指标明显高于高速走丝；

低速	高速
加工精度为0.002-0.005mm	加工精度为0.01-0.02mm
表面粗糙度一般为Ra 1.25um	表面粗糙度一般为Ra 5.0-2.5um
（最佳可达Ra 0.2um）	（最佳可达Ra 1.0um）

38

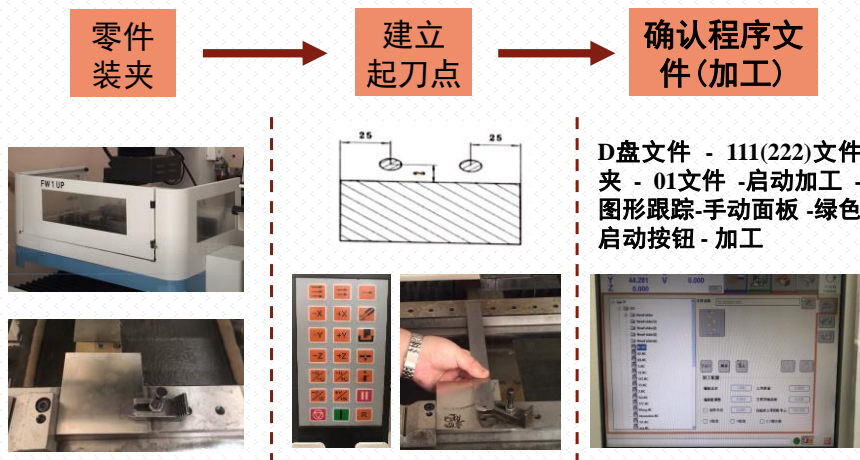
四. 线切割机床简介

(3) 快走丝线切割机床组成



39

线切割机床操作流程



40

目录

- 电火花加工
- 线切割加工原理及特点
- 线切割加工适用范围
- 线切割机床简介
- caxa绘图软件的运用
- 加工实体零件

五. CAXA绘图软件的运用

■绘图要求（重要！！）

1.绘制40×40绘图区

2.要求一笔封闭

3.所有线条宽度不小于0.7mm（保证连接强度）；
所有窄缝宽度大于0.2mm（加工进、退通道）



五. CAXA绘图软件的运用

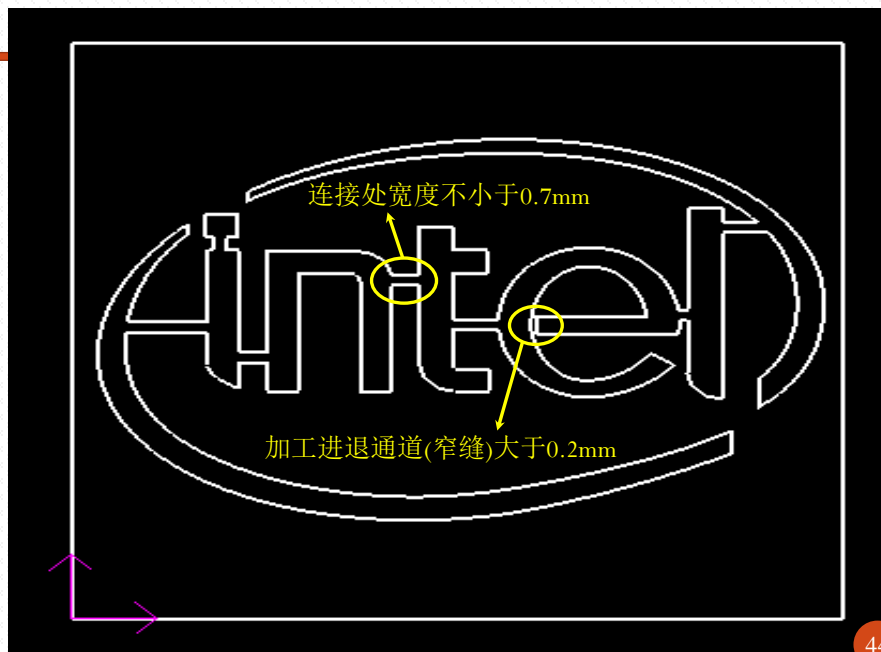
基本曲线：直线、圆弧、圆、样条线

曲线编辑：裁剪、过渡、镜像、平移、缩放、阵列

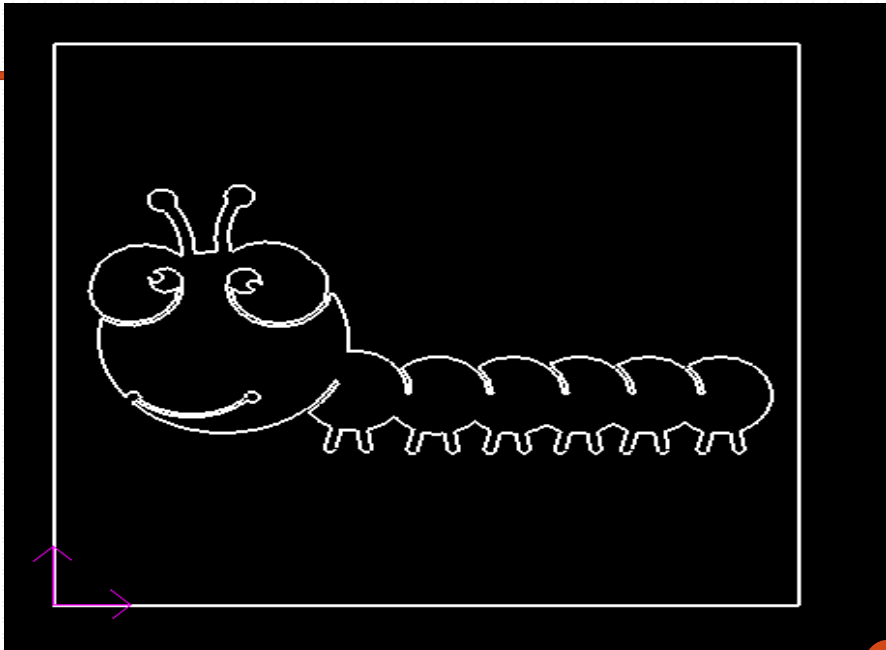
高级曲线：多边形、椭圆、轮廓文字（推荐黑体）

轨迹操作：二轴轨迹生成

43

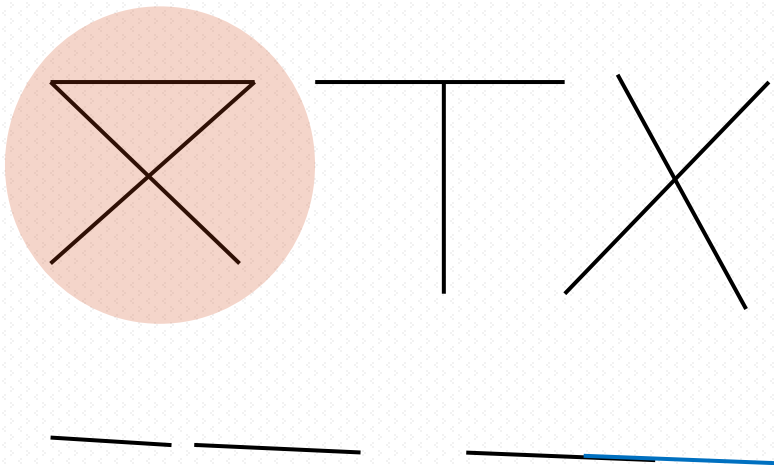


44



45

五. CAXA绘图软件的运用



46

线切割轨迹生成参数表

切割参数 偏移量/补偿值

切入方式:
☒ 直线 ☐ 垂直 ☐ 指定切入点

圆弧进退刀:
☐ 圆弧进刀 圆弧角度 90 度 半径 10
☐ 圆弧退刀 圆弧角度 90 度 半径 10

加工参数:
 轮廓精度 = 0.1 支撑宽度 = 0
 切割次数 = 1 锥度角度 = 0

补偿实现方式:
☒ 轨迹生成时自动实现补偿 ☐ 后置时机床实现补偿

拐角过渡方式:
☒ 尖角 ☐ 圆弧

样条拟合方式:
☐ 直线 ☒ 圆弧

请在“偏移量/补偿值”一项中指定切割的偏移量或补偿值

确定 取消

线切割轨迹生成参数表

切割参数 偏移量/补偿值

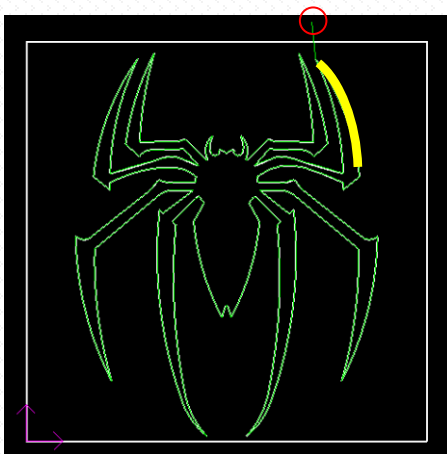
每次生成轨迹的偏移量

第1次加工 = 0	第6次加工 = 0
第2次加工 = 0	第7次加工 = 0
第3次加工 = 0	第8次加工 = 0
第4次加工 = 0	第9次加工 = 0
第5次加工 = 0	第10次加工 = 0

注意: 距离轮廓最近的一行为第一次,距离轮廓最近的一行为最后一次

确定 取消

47



穿丝点位置:
靠近所选轮廓的图框外任意一点

48

评分标准

每个人完成一幅加工图形的绘制

- 图形特点
- 复杂程度
- 错误（连接、通道错误等）



4-共享文档 (10)

0_4月15日夜晚云盘停机更新	0_网盘协议及说明	0_正版化软件下载
郭昊_08832	刘雅静_06237	马伶_10542
史微_10714	魏振忠_07607	张时声_07792
张旭_93347		

- 3D打印
- 激光加工
- 数控车
- 数控铣
- 线切割

第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第6组	第7组	第8组
第9组	第10组	第11组	第12组	第13组	第14组	第15组	第16组