电火花线切割加工工艺特点分析

中国石油兰州石油化工公司机械厂 （甘肃 730060）
马 英 杨斌武 屈双军 秦启祥 范希磊 马长海

线切割加工是电火花线切割加工的简称，它是用线状电极（钼丝或钨丝）靠电火花放电来对工件进行切割。线切割机床通常分为两类：快走丝和慢走丝。前者是电极丝钼丝作高速往复运动，走丝速度为 4.5～9m/s，国产的线切割机床多是此类机床。慢走丝机床的电极作低速单向运动，一般走丝速度低于 0.2m/s。我厂使用的是苏州三光电加工有限公司生产的 DK7725g 电火花线切割快走丝机床。主要用于烟机制造过程中动、静叶片的各种样板加工。

1. 线切割加工工艺设计

线切割加工一般是作为加工中的最后一道工序（最终热处理工序也安排在线切割之前）。线切割加工要使工件达到图样要求的尺寸、精度和表面粗糙度值等各项指标，必须做好加工前的准备工作，认真地对零件进行分析，合理地安排加工路线，选定加工参数。图 1 是数控线切割加工工艺设计的主要步骤。工艺分析首先是对零件图进行分析，明确加工要求。其次对工件已加工表面进行分析，确定哪些面可以作为工艺基准，采用什么方法定位。分析零件的形状及材料热处理后状态，考虑会不会在加工过程中发生变形，哪些部位最容易变形。由于线切割加工往往是最后一道工序，如果发生变形难以弥补。应在加工中采取措施，从而制定出合理的切割路线。分析选择主要定位基准，以保证将工件正确、可靠地装夹在机床或夹具上，应尽量使定位基准和设计基准重合。选择某些工艺基准作为电极丝的定位基准，用来将电极丝调整到相对于工件正确的位置。对于以底平面作主要定位基准的工件，当其上具有相互垂直而且又同时为底平面的相邻侧面时，应选择这两个侧面作为电极丝的定位基准。在加工中，工件内部应力的释放会引起工件的变形，所以在选择切割路线时，应尽量避免破坏工件或毛坯结构刚性。因此必须注意以下几点：

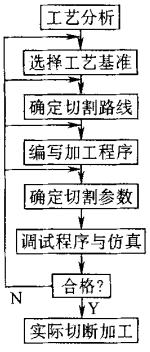


图 1 线切割加工工艺设计程

（1）避免从工件端面由外向里开始加工，防止破坏工件的强度，引起变形。

（2）不能沿工件端面加工，这样放电时电极丝单向受电火花冲击力，使电极丝运行不稳定，难以保证尺寸和表面精度。

（3）加工路线端面应大于 5mm。以保证工件结构强度少受影响，不发生变形。

a_n——分角弦长，mm

h——弧弦距，mm

h_n——分角弧弦距，mm。

3. 结语

（1）应该指出上述几种作图方法，在实际生产中应当进行多等分，等分数越多越精确。

（2）图解法 2 非常适合于无样板划线，且在钢板尺寸恰好满足使用时，更加有效。

（3）计算法划线省时，但计算量较大、且需配备科学计算器。

（4）以上几种画法除了画大圆弧以外，在锥面（尤其远顶圆锥面、圆台面）展开作图时，只要计算出半径、中心角或弦长，弧弦距也可采用以上的几种画法。

（5）在图解法中如果没有弧弦高 h 和弦长 a，可以通过公式计算。

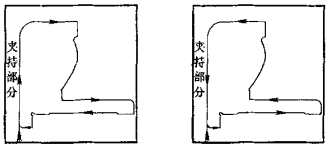
（收稿日期：20070524）

(4) 加工路线应向远离关键夹具的方向进行加工，以避免加工中因内应力释放引起工件变形。待最后再转向工件夹具处进行加工。

(5) 一块毛坯上要切出两个以上零件，不应该连续一次切割出来，而应从不同穿丝孔开始加工。

图 2、3 是我厂烟机动、静叶片加工所用的样板图，也是确定切割路线的几种具体实例。

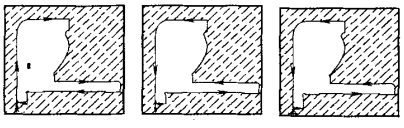
图 2a 中切割完第一条边后，原来主要连接部位被剥离，余下的材料与夹持部分连接较少，工件刚度大为降低，容易产生变形而影响加工精度。如图 2b 的切割路线加工样板，可减少由于材料剥离后残余应力重新分布而产生的变形。所以，一般情况下，最好将工件与夹持部分分割的线段安排在切割总程序的末端。



(a)错误 (b)正确

图 2 切割路线的确定

图 3 所示的由外向内顺序的切割路线，毛坯材料被割离，会在很大程序上破坏材料内应力平衡状态，材料变形。图 3a 是不正确的方案。图 3b 安排较合理，但仍存在着变形。因此，对电火花线切割设计精度要求较高的零件，最好采用图 3c 的方案，电极丝不由毛坯的外部切入，而是将切割的起始点取在毛坯件预制的穿丝孔中。我厂采用图 3c 加工方法，效果很好。



(a)不正确方案 (b)可用方案 (c)最好方案

图 3 切割路线的确定

2. 加工表面粗糙度的影响因素分析

我们通常用轮廓算术平均偏差 R_a（μm）来表示表面粗糙度值。这和影响加工速度的主要因素一样，单个脉冲的放电能量决定了加工的表面粗糙度。即表面粗糙度值主要取决于脉冲宽度 t_1 和峰值电流 I_p。当要求较低的表面粗糙度值时，宜选用较小的脉宽和较小的峰值电流，当然二者比较而言，峰值电流对表面粗糙度的影响更大一些。脉冲间隔只对加工的稳定性有影响。而对加工的表面粗糙度几乎没有什么影响。而工件厚度较大时，间隔应取大值。由于快走丝机床的电极丝循环使用，存在着换向和高速运丝时电极丝的振动等情况，所以快走丝机床达到的表面粗糙度值一般为 $R_a = 5 \sim 2.5\mu m$，最佳也只有 $R_a = 1\mu m$ 左右。我厂加工的样板表面粗糙度值 R_a 能达到 $3.2\mu m$。

3. 非电参数的影响

(1) 电极丝及其移动速度对工艺指标的影响 对于快走丝切割来说，由于电极丝在卷丝筒上缠绕松紧不均，正反运动时张力不一样等缘故引起电极丝的波动，电极丝的波动会对加工稳定性的影响很大。当走丝速度高时，在一定范围内，加工速度也提高。同时，有利于电蚀产物的排出和放电加工的稳定。但速度过高将加大机械振动，降低精度和切割速度，表面粗糙度也将恶化，并易造成断丝。所以这是一对矛盾，加工工件时需具体情况具体分析。

(2) 工件厚度和材料对工艺指标的影响 工件材料薄，工作液容易进入，对排屑和消电离有利，加工稳定性好，但太薄，电极丝易抖动，还容易产生变形，对加工精度和表面粗糙度不利；工件厚时，工作液难进入，加工稳定性差，但电极丝不易抖动，因此精度较高和表面粗糙度值较低，所以这也是一对矛盾。同时，工件材料不同，其熔点、气化点、导热系数等都不一样，因而加工效果也不同。除此以外，丝张紧力、工作液浓度等都会对加工效果产生影响。

4. 结语

电火花线切割机是机床数控技术的重要应用领域之一。由于它具有加工精度高、速度快、操作控制简便以及可以方便地加工复杂零件等特点。

影响加工过程的干扰因素多，诸如：电极、工件材料、工件厚度、脉宽、脉间、电流、电压、工作液等等，所以，对于一般的操作者来说，很难在加工前迅速地确定合适的加工参数，完成高效率、高质量的加工。这在一定程度上影响了电火花线切割机床性能的充分发挥及加工的有效进行。因此，今后电火花线切割机智能化的发展趋势是将模糊控制及人工神经网络技术等人工智能技术引入，这将会大大提高电火花线切割机的智能化程度。

(收稿日期：20070622)