

实用电火花线切割300例

(上 册)

电加工杂志编辑部

· 内 部 资 料 ·

实用电火花线切割300例

机械电子工业部苏州电加工机床研究所
中国机械工程学会电加工学会
《电加工》杂志编辑部编
江苏省常熟市教育印刷厂印刷

*

32开本 332页 2000册

准印证号：苏苏虞新出准字050号

前 言

电火花线切割用于模具加。

工业的发展起着重要的作用。尤

从事电加工专业的技术队伍日益壮大。目前，已出版的线切割加工书籍大多注重理论，以加工实例为主的专业书籍尚未见到。而投寄本刊的线切割加工实例稿因刊载篇幅有限，使得许多实用经验得不到及时交流。

基于上述原因，本刊将几年来累积的电火花线切割编程、加工工艺与工装、维修与改装经验等方面的来稿及资料进行整理加工再选一部分本刊登过的线切割小经验、小工艺等内容，汇编成《实用电火花线切割300例》一书。

本书适合于初中级线切割操作技术工人阅读，也可供大专院校师生、研究单位以及线切割机床生产厂技术人员参考。

编辑本书是我们的一次尝试，希望得到良好的社会效益。原则上力求面广，能使读者从中得到启发开拓思路；另一方面也就是作者的愿望，抛砖引玉，共同提高电加工操作技术水平。对于选入本书的实例并不一定是最好的方法。如：当今线切割自动编程已渐普及，而对于小批量机床的单位和个体用户来说，手工编程还是有用武之地的；对于早期分立元件控制的机床也同样如此。故我们仍选入了这方面的实例。

由于时间较紧，经验有限，对实例不可能一一核实，差错难免。希望读者在阅读本书时，结合实际情况作为参考。

《电加工》编辑部

一九九〇年七月

目次

前言

编 程 与 计 算

数控线切割加工编程前的准备	(1)
切锥形工件实现锐角的编程	(7)
切弯模的线切割编程	(8)
大圆弧的自动编程	(12)
凸轮的快速编程	(19)
特殊凸轮的编程	(25)
渐开线齿轮发生根切在编程中的改善方法	(30)
DJS—040单板机编程中的问题及解决方法	(32)
fx—702P计算器用于编制间隙和斜度补偿程序	(35)
对数螺线的SKG语言编程	(39)
用fx—4000P计算器对非圆曲线进行快速编程	(40)
关于旋转计算的技巧	(44)
相对坐标旋转法的程序运算	(51)
利用极坐标快速计算点旋转	(54)
数控线切割椭圆的快速计算	(57)
线切割机加工旋转图形的快速计算与编程	(60)
点旋转坐标的BASIC程序	(68)
程序校对简法	(71)
用验算法检查程序编制的正误	(74)
DK3220控制系统的程序删除和插入软件	(82)
穿孔纸带的简易修补	(89)
3B和4B程序的转换经验	(90)
3B程序反向的应用	(91)
CL六边形解交点坐标圆弧计数长度的确定	(94)
圆弧与斜线相交处过渡圆坐标的简便计算	(96)
钼丝中心偏移轨迹程序的简易推算算法的改进	(98)
如何确定数控线切割机编程中的f值	(101)

丝架锥度坐标及刻度计算	(105)
多型腔孔切割中引入线尺寸补偿的方法	(110)

加 工 工 艺 与 工 装

谈谈线切割加工前的准备工作	(113)
数控线切割机操作须知	(117)
精度较高零件的线切割加工方法	(126)
线切割加工对称度要求0.02mm的零件	(129)
解决线切割零件超差小经验	(130)
特殊凸凹模的加工方法	(131)
数控线切割加工倾斜角度的零件	(131)
CKX数控线切割机加工抛物线样板	(132)
用线切割机床加工成形车刀	(134)
线切割加工成型顶杆的方法	(138)
用线切割机切割硅片	(139)
同时切割凸凹模的技巧	(142)
简易锥度线切割的尝试	(147)
断丝后原地穿丝探索	(149)
线切割加工中短路处理简法	(151)
小凸模在终点产生凹痕的处理	(152)
在DK6750机床X轴向切割斜度大于 $\pm 1^\circ$ 的加工方法	(152)
用线切割加工椭圆形模具的方法与程序编制	(155)
数控线切割机的接触对刀及钼丝垂直度调整	(159)
解决凹模落料斜度的几种简单方法	(161)
解决线切割加工圆柱体同心度及对称度的方法	(162)
线切割加工中起始点残痕的产生与消除办法	(164)
线切割加工表面沟痕及解决方法	(166)
线切割加工较大尺寸套类零件	(167)
超长度工件的线切割加工	(168)
超过加工范围工件的加工	(171)
在进口线切割机超行程工件的加工	(172)
用悬吊法加工超长工件	(174)
超过存储半径圆弧的加工方法	(175)
一种简易可行的自动找中心方法	(178)
控制台找中法及扩大加工范围	(180)

三点找正圆心的简单方法	(184)
扩大线切割机加工范围	(185)
恢复未走完的圆弧半径简法	(188)
使用线切割机高频电源的经验	(190)
控制台运算出错的一个补救方法	(190)
数控线切割机变频最佳点的摸索	(191)
对于局部淬裂或加工走错模具的修补	(194)
线切割加工中途停电的处理	(195)
线切割报废模具修复	(198)
提高线切割加工稳定性的一点措施	(201)
步进电机速度不能太快	(202)
高锰酸钾对线切割机生产率的作用	(203)
谈谈夹具在线切割加工中的应用	(204)
旋转装夹的利用	(207)
一种线切割加工电机定转子凹模的固定分度夹具	(208)
利用简易夹具切割空间型面	(211)
立体旋转双面磁性工具用于线切割加工	(212)
线切割机用三维空间工件定位支架	(214)

维 修 与 改 装

数控线切割机故障检修法	(216)
数控线切割机光电输入故障的排除	(220)
电报机头的应急检修	(224)
SCX—73光电输入部分的维修	(224)
SCX—73高频部分及—12V稳压电源引起故障的排除	(226)
光电输入机构的改进	(229)
SCX—73光电机传动机构的改进	(231)
SCX—73数控线切割机的调机查障法	(232)
线切割机F寄存器的简易检查法	(241)
数控线切割机移位寄存器常见故障点的判断	(242)
线切割机断丝保护与自动停机	(246)
线切割机床电气修理四例	(248)
TPCW—2635线切割机高频电源维修	(251)
线切割机高频电源接地点的改进	(253)
线切割机特殊故障两例	(254)

排除高频分组脉冲对控制台的干扰	(255)
步进电机多走故障的排除	(255)
DK3220B线切割机关机烧保险的原因及改进措施	(256)
单板线切割机常见故障与排除	(258)
MNC802数控系统电路故障排除	(261)
线切割机微机控制系统维修	(263)
用控制台检查纸带	(268)
用无触点开关控制电报机头阅读纸带	(270)
单板机断电简易保护装置	(271)
解决SSX—Ⅱ型线切割机床环分器“卡死”的方法	(272)
单板机控制CKX—2型线切割机软件改进	(274)
用单六拍控制机控制双三拍机床	(278)
用TP801A单板机改造SK3254线切割机	(280)
数控线切割机加装简易绘图装置	(282)
数控线切割机用万能表找中心	(283)
线切割机联轴节的代用	(285)
对线切割机断轴问题的一点体会	(285)
DK6732断丝的原因和排除	(287)
提高钼丝使用寿命的途径	(290)
线切割机运丝机构的改进	(292)
线切割机贮丝筒换向控制的改进	(295)
线切割机走丝筒能耗掣动装置	(296)
线切割机床线架的改造	(300)
双卷丝轮线切割机的小改进	(303)
DK7716线切割机卷丝机构小改	(305)
重力锤简易自动紧丝装置	(306)
马达自动简易紧丝装置	(308)
线切割机改革两例	(309)
数控线切割机钼丝支承座的改进	(311)
水银开关用于卷丝电机换向	(313)
SCX—73线切割机进电装置的改进	(314)
DK3220线切割机导电装置改进	(315)
DK3220线切割机导电轮的小改进	(317)
改善线切割机驱动引起的失步	(318)

DK7732线切割机进电块的改进	(318)
线切割机碳刷的改进	(320)
废旧导轮及导电轮的利用	(320)
线切割导轮轴承加装密封装置	(322)
略述导轮损坏原因及安装工艺	(323)
更换导轮和轴承用的小胎具	(326)
自制硬质合金导电轮	(327)
线切割机床用陶瓷导轮	(328)
线切割机导轮的加工	(329)
如何延长线切割机行程开关寿命	(331)

数 控 线 切 割 加 工 编 程 前 的 准 备

编程前的准备是指根据图纸要求和加工的具体条件, 进行工艺分析、确定加工方法、切割路线、选择工艺参数等。主要包括: ①确定能否进行线切割加工; ②充分利用现有条件, 力求编程简便、快速、准确; ③妥善处理辅加程序。

一、钼丝直径、放电间隙与编程的偏移量

使用没有间隙补偿功能的线切割机时, 编程需首先确定的是钼丝中心运动轨迹与切割轨迹之间的偏移量 f 。 f 为钼丝半径和单边放电间隙之和。

钼丝直径及加工耗损量, 直接影响 f 值, 切割时, 使钼丝往返通过加工区, 耗损量很大, 以钼丝直径为 0.12mm 计, 切割至断丝前, 有时直径可减少 0.02mm 以上, 这对工件精度影响很大, 有时为了保持加工尺寸精度, 不得不把稍有耗损的钼丝提前去掉, 换新钼丝。

放电间隙 Z , 与工件的材料、结构、运丝速度, 钼丝的张紧状况, 导轮的运行状态, 工作液种类、供应状况及脏污程度, 加工电源的电规准, 以及加工变频调节等情况有关。用快速运丝机构, 在 $V_{\text{丝}}=60\sim 80\text{V}$ 时, 一般 $Z=0.01\sim 0.02\text{mm}$ 。

在实际工作中, 要精确地确定偏移量 f 值是比较困难的。为准确地确定 f 值, 往往在每次编程之前, 需预先在确定的加工条件下, 试切一个正方形, 再实测出放电的间隙, 便可求得准确的 f 值。这样才能准确的编制程序。

二、工件结构工艺性对编程的影响

1. 工件形状的影响

1) 切割厚度不同, 就相当于加工面积不同, 会使加工尺寸发生变化。因此, 即使其他条件不变, 只要厚度不同, 就应重新确定准确的偏移量 f 。

2) 工件的内角不能太小。因钼丝有直径 $d_{\text{丝}}$, 加工时还存在放电间隙 Z , 所以切割的内角最小半径 γ_{min} 应满足 $\gamma_{\text{min}} \geq 1/2 d_{\text{丝}} + Z$

3) 如零件形状有对称性, 部分轮廓有平移或回转特性, 应尽量应用这些特性, 来求解各有关点的坐标, 这可以减少数学计算工作量, 提高准确性。

2. 工件精度的影响

工件尺寸有公差, 而钼丝切割轨迹 (即所得工件的轮廓线) 应选在公差带的什么位置上, 有以下三种情况:

1) 直接加工零件时, 使钼丝切割轨迹通过公差带中心。按工件尺寸性质不同, 如图 1 所示, a) $D_A = D + \frac{1}{2}\delta + f$, b) $d_A = d_A - \frac{1}{2}\delta + f$; c) $L_A = L$ 编程尺寸也不相同。

2) 有时, 为了延长模具的使用寿命, 加工冷冲模凸凹模时, 使切割轨迹偏离公差带中心。如图 2 所示, 按加工情况的不同, 其编程尺寸的计算方法也不同。

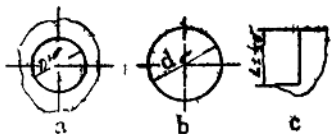
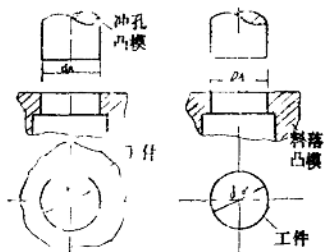


图1 切割轨迹通过公差带中心时的编程尺寸

3) 为了提高加工精度或表面光洁度, 有时把线切割分为粗、精两次完成, 有时需要对线切割表面后以其他方法修

工,这就要求粗加工时,为精加工(或后续加工)留有一定余量,即需加大偏移量 f 值。



$$d_A = D - (0.75 - 1) \sigma + f \quad D_A = d - (0.75 - 1) \sigma - f$$

图2 切割轨迹偏离公差带中心的编程尺寸

3. 被加工材料的影响

1) 对偏移量的影响

在其他条件相同时,材质不同,放电间隙也会有差别,这就影响偏移量的大小。一般地说,熔点低材料比熔点高的材料放电间隙大些,淬火的比未淬火的材料大些,热容量小、导热性差的材料间隙较大。

2) 限制取件位置,影响切入切出程序,材料的内

部组织及应力状态,对切割后的零件精度有很大影响。所以从材料中割件时,应尽量使切割轨迹通过组织比较均匀,应力比较小的部位,使切割的零件变形较小,精度较高。如切割T10等热处理性能较差的材料时(见图3a),因工件取自坯料的边缘处,变形较大,而图3b由于工件取自里侧,则变形较小。所以为保证精度,必须限制在坯料中取件的位置,这样就影响编程。

三、机床和夹具的影响

1. 机床精度的影响

从单纯的数学处理角度来说,编程中计算数值的单位可以取得很小。但由于机床

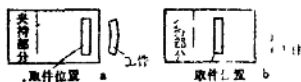


图3 取件位置对工件精度的影响

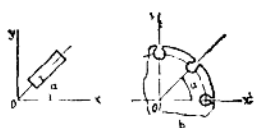
的制造误差、磨损的状况，使用条件变化等情况的影响，使加工精度受到很大限制，目前一般只能达到 $\pm 0.01\text{mm}$ ，脉冲当量 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$ ，这样在编程中所用的数字码，如X、Y、J等，均以微米为单位。为保证此精度，在编程计算中对 100mm 以内的尺寸必须采取五位以上的有效数字，如大于 100mm 的尺寸，则要取六位以上的有效数字。

机床进给丝杠等的制造误差，对工作台进给精度影响很大，它在一定行程范围之内，误差的大小和方向是固定的。因此可采用修改程序的办法，对此类误差加以补偿。

2. 夹具对编程的影响 采用适当的夹具，或可使编程简化，或可用一般编程方法使加工范围扩大。如用固定分度夹具，用一段程序带可以加工零件的多个回转图形，这就简化了编程工作。再如用自动回转卡盘，变原来的直角坐标系为极坐标系，可用切斜线的程序，加工出近似的阿基米德螺旋面。还可以用适当的夹具，加工出车刀的立体角、导轮的沟槽、样板的椭圆线和双曲线等，这就扩大了线切割机的使用范围。

四、工件在工作台上的定位对编程的影响

1. 适当的定位可以简化编程工作 工件在工作台上的



位置不同，会影响工件轮廓线的位置，这就影响各节点坐标的计算过程及结果，使各段程序指令也会不同。图4a中如使工件 α 角为 0° 、

图4 工件定位对编程影响示意图之一 90° 以外的任意角，则矩形轮廓各线段，都成了切割程序中的斜线，这样计算各点的坐标，填写程序单以及编制纸带等都比较麻

烦,还可能多发生错误。如条件允许,使工件的 α 角成 0° 和 90° ,则各段程序皆为直线程序,这就简化了编程,可减少出错机会。 α 为 45° 也可收到同样效果。同理图4b中之图形,当 α 角为 0° 、 90° 或 45° 时,也会简化编程,提高质量,而 α 为其他角度时,会使编程复杂些。

2. 合理的定位可充分发挥机床的效用 有时则与上述情况相反,需要限制工件的定位,用改变编程的办法以满足加工的要求。如图5所示,工件的最大长度尺寸为139mm,最大宽度为20mm,工作台行程

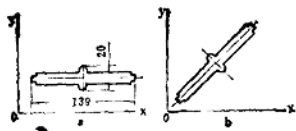


图5 工件定位对编程影响示意图之二

程为 $100 \times 120\text{mm}$,很明显若用图5a之定位方法,在一次装夹中就不能完成全部轮廓的加工,如选图5b之定位方法,可使全部轮廓落入工作台行程范围之内,虽会使编程比较复杂,但可在一次装夹中完成全部加工。

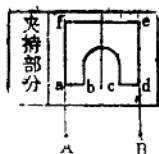
3. 正确定位可提高加工稳定性 在加工时,对各段程序加工稳定性并不相同,如直线 L_s 的切割过程,就容易出现加工电流不稳定,进给不均匀等毛病,严重时会引起断丝。因此编程时,使零件的定位尽量避开较大的直线 L_s 程序段。如图4a中所示, α 为 0° 时,定位较差,而 α 为 90° 时,其定位避开了较大的 L_s 直线程序,较为合理。

五、程序的走向及起点的选择

为了避免材料内部组织及内应力对加工精度的影响,除了考虑工件在坯料中的取出位置之外还必须合理的选择程序

的走向和起点。如图6所示，加工程序引入点为A，起点为a则走向可有：

- ① A—a—b—c—d—e—f—a—A；
- ② A—a—f—e—d—c—b—a—A。



如选②走向，则在切割过程中，工件和易变形的部分相连接，会带来较大的误差。如选①走向，就可以减少或避免这种影响。

图6 程序走向及起点对加工精度的影响

如加工程序引入点为B，起点为d，这时无无论选哪种走向，其切割精度都会受到材料变形的影响。

另外程序的起点（一般也是终点）选择不当，会使工件切割表面上残留切痕，尤其起（终）点是选在圆滑表面上时，其残痕更为明显。所以，应尽可能把起（终）点选在切割表面的拐角处或是选在精度要求不高的表面上，或是选在容易修整的表面上。

六、辅加程序

辅加程序一般有下列几种：

1. 引入程序 程序起点是在程序的某个节点上，如图6之a在开始切割时，一般情况，引入点（如图6中之A）不能与起点重合。这就需要一段引入程序。引入点有时可选在材料实体之外（如大多数凸模的加工），有时也在材料实体之内（如凹模加工），这时还要预制工艺孔，以便穿丝。

引入点应尽量靠近程序的起点，以使引入程序最短，缩短切割时间。另外预制工艺孔带来制孔、穿丝的麻烦，但由于合理的选用了引入点和引入程序，控制了加工过程中的材料变形，提高了加工效率和精度。

2. 切出程序 有时工件轮廓切完之后, 钼丝还需要沿切入程序反向切出。如图 7 所示, 如果材料的变形使切口闭合, 当钼丝切至边缘时, 会因材料的变形而卡断钼丝。这时应在切出过程中, 辅加一段保护钼丝的切出程序 (见图 7 中 A'—A'')。A' 点距材料边缘距离应依变形力大小而定, 一般有 1 mm 左右即可。A'—A'' 斜度可取 $1/3 \sim 1/4$ 。

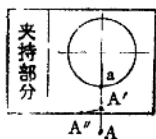
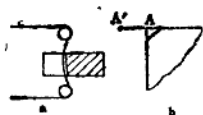


图7 辅加切出
程序示意图

3. 超切程序和回退程序 因为钼丝是个柔性体, 加工时受放电压力、工作液压力等的作用, 使加工区间的钼丝, 迟后于上下支点一个距离, 即钼丝工作段会发生挠曲, 见图



8a。这样就会抹去工件轮廓的清角，影响加工质量，见图8b。为了避免抹去清角可增加一段超切程序，如图8中之A—A'段。使钼丝切割的最大迟后点达到程序节点A，然后再辅加A'点返回A点的回退程序A—A'，便可割出清角。

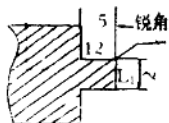
(刘振)

切锥形工件实现锐角的编程

按照常规,切割锥形工件的程序编制时,需要在直线与直线相交处以过渡圆弧相切连接。否则,机床是无法实现自

动锥度补偿切割的。习惯的编程方法，在直线拐角处添加的过渡圆确定圆的半径 R 时，其参数值必须符合（ $F \leq R$ ， F 即锥度单边补偿值）。

对有些工件的凸台宽度小，如图1加工件的凸出部分宽度仅为2 mm左右。在编制程序时，计算出的锥度单边补偿值为0.698 mm。而且添加在拐角处的圆弧半径 $R \geq 0.698 \text{ mm}$ 。结果，实际切割出的凸出部分由于添加过渡圆弧后，很明显突出部分的直角处被两个圆弧 R 所代替了。



如果我们把过渡圆弧处的编程稍加改动后，在原来锥度补偿控制方式不改变情况下，仅仅在边沿的废料部分切出了3/4的过渡圆弧来联接两段直线，就会切出工件的锐角来。

编制程序时，习惯原两段相交直线的长度均要减去过渡圆弧半径 $L_1 = 2 - (0.698 \times 2) = 0.604$, $L_2 = 5 - 0.698 = 4.302$

改变后的编程时 $L_1 = 2 + (0.698 \times 2) = 3.396$, $L_2 = 5 + 0.698 = 5.698$

圆弧半径 R 值不变，计数长度为3倍 R 。加工指令由 SR_1 变为 NR_1 。

（苏成寅）

切弯模的线切割编程

切弯模的结构是简单的，就凹模（如图1所示）而言，型

