

异型深槽类波导零件的电加工初探

成建霞 刘暄
(天津航天机电设备研究所 天津 300458)

摘要: 波导类零件是数传天线中的关键零件, 内腔质量接影响微波传输效率及损耗, 从而影响天线的在轨可靠性。波导类零件尺寸公差满足 0.03mm 以及表面粗糙度优于 Ra1.6μm。根据材料及产品特性, 采用分阶段电成型加工。设计专用紫铜电极, 选择合理放电参数, 使成型过程中产生电弧的几率大大减小, 从而提升效率 40%; 表面粗糙度达到 Ra1.5μm 以上。

关键词: 波导零件; 电极设计; 电成型加工

0 引言

随着通信、导航、环地卫星的应用越来越广泛, 对天线提出了更高的需求, 天线的使用频率逐步从 X 频段向 Ka 频段的方向发展, 高频电缆的损耗已不能满足使用要求, 从而采用波导类零件进行微波传输。

波导类零件的内腔结构特点, 无法采用传统机械加工方法直接成型, 一般采用电成型加工方法实现; 在电加工过程中尺寸精度及表面粗糙度难以控制, 容易产生内腔表面电腐蚀、内腔接刀等现象, 迫切优化传统的成型方法来保证产品的设计要求。

1 电加工成型工艺

电火花成型的基本工艺包括: 电极的制作、工件的准备、电极与工件的装夹定位、冲抽油方式的选择、加工规范的选择转换、电极所缩量量的确定及平动量的分配等。

2 弯波导 1、2 零件分析

(1) 分析弯波导 1、2 工艺文件要求: 电火花成型

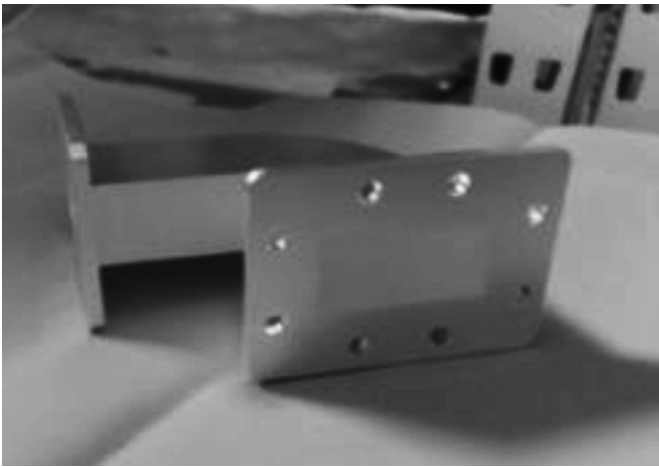


图 2 工件实体

加工俯视图 $12.62+0.05 -0.01 \times 28.5+0.05 -0.01$ 方腔, 保证腔内尺寸 $R33.5+0.04 -0.02$ 以右视图方向加工左侧方腔 $12.62 +0.05 -0.01 \times 28.5+0.05 -0.01$ 方腔保证腔内尺寸 $R33.5+0.04 -0.02$ 。内腔的表面粗糙度优于 $1.6 \mu m$ 。不允许出现接刀问题。

(2) 针对零件型腔尺寸特点, 加工分阶段进行: 设计粗加工、半精加工、精加工电极。电规准原则是粗加工去余量, 半精加工完成仿形, 精加工保证尺寸精度和表面精度要求。

(3) 加工中心粗加工后工件外形为规则正方形, 采用虎钳装夹。内腔电加工后再由线切割加工外形。

3 弯波导 1、2 的电火花成型加工方法

3.1 电极的设计与制作

首先设计、制作电极很关键。电极的尺寸及外形精度必须检测合格, 表面粗糙度要优于工件要求。 $R33.5+0.04 -0.02$ 尺寸完全包含于型腔的内部, 不能直观测量, 只能依靠电极来保证。电极的设计是在工件型腔的基础上制作。关键在电极工作部分。为了方便找正定位, 采

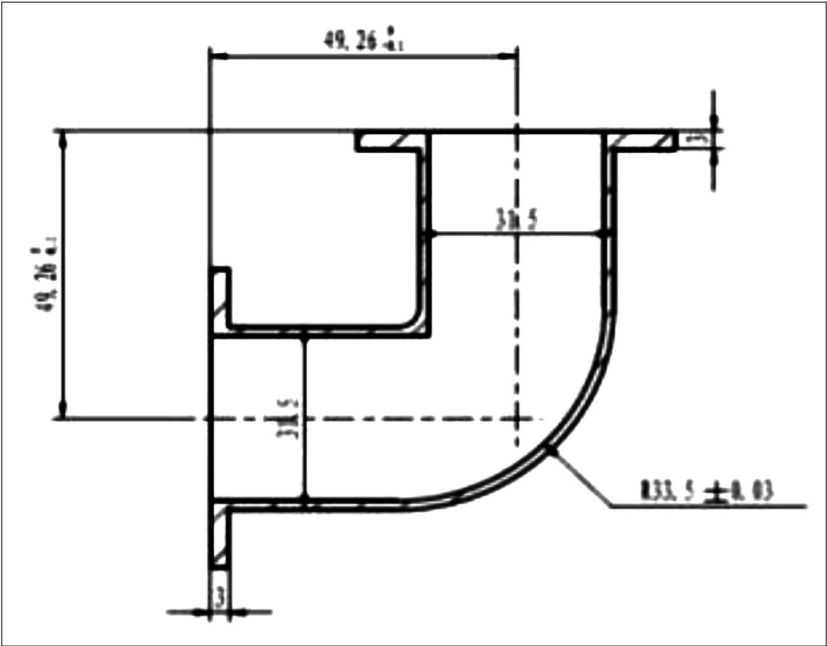


图 1 弯波导 2 图纸要求

用包容设计思想,电极顶端设计为平面,改善了定位方式,提高了定位精度。把 R 部分圆弧从两个方向完美的对接。依据图 5 中示意 Z 方向的加工深度为 -58.51mm。

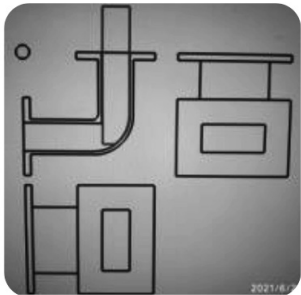


图 3 弯波导 1 电极设计图



图 4 弯波导 1 电极

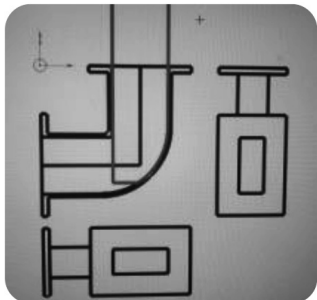


图 5 波导 2 电极设计图



图 6 波导 2 电极

3.1.1 电极材料的选择与电极制作

弯波导型腔有圆弧过渡,形状特殊。工件加工量较大,批量加工。从经济性和适用性方面考虑电极材料使用紫铜。紫铜是电火花成型加工中应用最广泛的电极材料之一。

电极加工由加工中心完成。能够获得很高的表面精度和尺寸精度,适应形状复杂的电极加工。工具电极表面粗糙度与火花成型面的粗糙度成正比相关。特别是精加工成型工具电极面,要求至少等于该零件的粗糙度要求。

3.1.2 设计电极减寸量

电极分为粗加工、半精加工、和粗加工电极。单边减寸量分别为 0.4、0.2、0.1mm。分段加工可以尽量减少电极角部的损耗,从而提高加工效率。粗加工时,需要可能多的去除余量。精加工的电极要求位置和尺寸公差均在 0.005mm 以内,平面度和垂直度在 0.002mm 以内。加工需要从 2 个方向进行对接。

3.1.3 电极找正的方法

一般校表时,先校正好电极的前后、左右的水准度或者是垂直度,再校正横截面基准与机床 XY 轴面的平行度,最后再检查一遍。

3.1.4 电极的装卡

(1) 采用 3R 夹具: ① 夹具精度: $\leq 2\mu\text{m}$; ② 工装夹具互换精度: $\leq 5\mu\text{m}$;

(2) 机床感应精度: $\leq 2\mu\text{m}$;

采用瑞典 3R 快速装夹定位系统,可以给铣床、线切割、磨床、车床等制作电极。通过卡盘定位元件与机床连在一起,这样使制作电极到电火花成型加工,具有良好的兼容性、稳定性、精确性、经济型,还可以实现自动化操作。

3.2 工件的装夹及找正

加工中心预加工后工件外形为正方形,适合虎钳装夹定位,便于加工过程中型腔内部积屑的排出,以防产生电弧等不良情况。零件基准面精度: 如图 9 所示, A 表面粗糙度: $\leq 0.6\mu\text{m}$ 。

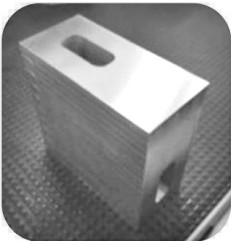


图 7 弯波导 2 坯料



图 8 弯波导 1 坯料

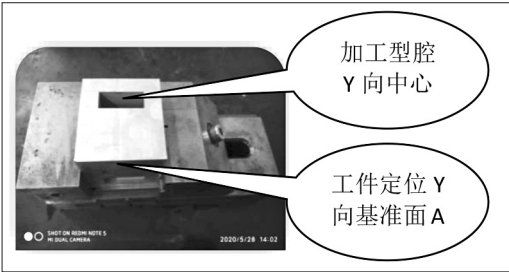


图 9 装夹方式

工件装夹,使用了多个夹具一起加工,使得一次装夹就可以加工多个零件,用千分表依次找正虎钳。找正工件的垂直度,在 0.005mm 内,工件两个加工面 $A \perp B \leq 0.005\text{mm}$ 。机床运行时间从原来每天 10 小时增加到了 22 小时,提高了机床利用率。

用基准球来对刀找正,调整电极、机床与零件之间的相对位置精度,以减少直接用电极找正带来的误差,同时还在加工完成后还可以用基准球来检测腔体的尺寸大小。

3.3 尺寸计算

3.3.1 中心距 电极 电极位置的计算 (尺寸单位 mm)

中心距 $D1=D2$ 为 $12.62 +0.05 -0.01 \times 28.5 +0.05 -0.01$ 型腔 Y 向尺寸中心 距离 Y 向基准面 A 的尺寸距离。

表 1 各加工阶段尺寸计算

加工阶段	电极尺寸	电极位置	中心 D1=D2	减寸量	加工余量
粗加工	11.84mm*27.72mm	63.07mm	35.35mm	0.44mm	0.4mm
半精加工	12.24mm*28.12mm	63.27mm	35.15mm	0.34mm	0.1mm
精加工	12.54mm*28.42mm	63.42mm	35mm	0.12mm	0mm

根据中心距 49.260 ± 0.1 取中间值 49.21 。 28.5 ± 0.05
 $-0.01 \times 12.62 \pm 0.05 - 0.01$ 取中间值 12.64×28.52 。

工件 X 方向为分中, Y 方向找到边基准 A。电极位置
为电极以 A 为基准移动的实际距离。

3.3.2 型腔尺寸的调整

精加工完成程序的第 1 第 2 工步, 这时电极会将方腔
四周都完整放电, 用内径千分尺分别测量 $28.5 \pm 0.05 - 0.01$
 $\times 12.62 \pm 0.05 - 0.01$ 尺寸, 用千分尺 测量 D1 (D2 尺寸在工
件另一个方向, 旋转工件依次加工), 公法线千分尺测量
方腔 X 方向的对称度。(D1=D2 实际测量时, 测量基准面
A 与至平行的型腔近边尺寸。

中心距 $D1=D2$ 测量尺寸 $49.21-28.52/2=34.95$

方腔尺寸加工余量一半与 $D1=D2$ 距理论值之差 比较:

(1) $D1=D2$ 与理论值之差大于方腔余量一半时, 电极
应该向 Y- 方向移动相应数值。

(2) $D1=D2$ 与理论值之差小于方腔余量一半时, 电极
应该向 Y+ 方向移动相应数值。

完成 Y 向移动后, 执行完程序就能很好的保证 49.26
 0 ± 0.1 中心距要求和 $28.5 \pm 0.05 - 0.01 \times 12.62 \pm 0.05 - 0.01$
的公差要求。然后旋转工件, 型腔位置放于电极一致方向,
重复上序工作, 完成另外一个型腔的电加工, 同时完成圆
弧对接。

表 2 各加工阶段电参数的选择

加工阶段	峰值电流	脉宽	脉间	去除率
粗加工	29	177.8	64.9	280
半精加工	13	63.9	48.7	60
精加工	4.4	15.9	27.4	11

3.4 电参数的选用

峰值电流一定时, 脉冲能量与脉冲宽度成正比, 脉冲
宽度增加, 加工速度随着增加, 但若过大, 加工速度反降。
脉冲宽度一定, 为了最大限度地提高加工速度, 应在保证
稳定加工的同时, 尽量缩短脉冲间隔时间。脉宽和脉间一
定时, 随着峰值电流的增加, 加工速度增加。但若峰值电
流过大, 加工速度反而下降。

粗加工时, 需要尽可能多的去除余量, 电参数的选
用较大的电流和脉宽来提高加工的效率, 而精加工时为
保证粗糙度在 1.6 以内, 电参数选用为较小的电流和功
率等。

3.5 工件的定位找正及测量

(1) 为改善接刀情况, 电极找正工件改为了使用基准
测球找正, 这样使原来面与面接触式的找正改为了点与点
的接触, 提高了找正的精度。

(2) 测量方法使用基准测球, 利用机床自动对刀的功
能, 在线进行测量, 不仅精度准确, 而且加工过程中的尺

寸精度可以及时修正。

3.6 排屑条件的影响

电火花成型加工过程中会不断产生气体、金属屑末和
炭黑等, 如不及时排除, 则加工很难稳定进行。加工稳定
性不好, 会使脉冲利用率降低, 加工速度降低。为便于排屑,
一般采用冲油 (或抽油) 和电极 “抬刀” 的方法。放电间
隙状态不好, 电蚀产物堆积多, 加快抬刀频率; 当放电间
隙状态好, 电极就很少抬起或不抬。使电蚀产物的产生与
排除保持基本平衡, 避免了不必要的电极抬起运动, 提高
加工速度。

3.7 对接棱及电规准的及时调整

加工中会出现有对接棱的现象。这时就要观察棱的凹
与凸。应为所有的公差都在中间值, 可以有 $0.01 \sim 0.02$
的偏移距离, 返修凸起, 一般都能修起来。

(1) 精加工易出现放电不稳定现象、拉弧倾向。拉弧
倾向时的处理方法 :1. 修改抬刀参数, 应减少放电时间,
加大抬刀高度, 加快抬刀速度, 减小伺服速度。具体参数
值修改到稳定放电状态稳定为准。

(2) 清理电极和工件 如果通过 1. 的方法不能解决问
题。暂停加工, 清理电极和工件 (细砂纸轻轻研磨) 后重
新加工。也可用反极性加工 (短时间), 使积碳表面加快
损耗掉。

(3) 调整电规准主参数 电流偏大或脉冲宽度过大,
或脉冲间隙过小都是产生拉弧倾向的原因。三者应根据加
工稳定性的工艺指标具体选择。放电不稳定的情况下, 首
先考虑增大脉冲间隙, 使加工保证消电离, 改善排屑状况,
其次考虑减小脉冲宽度。另外可以加大电压提高放电的稳
定性。

4 结语

加工完成的波导型腔尺寸和表面符合要求, 没有明显
的接刀。经检测, 所加工的波导零件尺寸精度达到 0.01mm 。
表面粗糙度在 $1.6 \mu\text{m}$ 以内, 符合技术要求。型腔内圆弧
的对接光滑有效, 接刀控制在 0.005mm 的范围内。型腔内
部表面经过性能测试驻波比值 1.05, 满足波导的设计使用
要求, 圆满完成多批次波导零件生产加工任务。

参考文献:

[1] 赵光霞主编. 数控特种加工分册 [M].. 北京: 北京理工
大学出版社, 2010.
[2] 伍端阳. 梁庆主编. 数控电火花机与线切割加工实用教
程 [M].. 北京: 化学工业出版社, 2015.
[3] 伍端阳. 梁庆主编. 数控电火花线切割实用教程 [M].
北京: 化学工业出版社, 2018.

作者简介: 成建霞 (1979.08-), 女, 汉族, 山西文水人, 本科,
高级工, 研究方向: 电切削加工; 刘 暄 (1987.02-), 男,
汉族, 河北保定人, 大学专科, 技师, 研究方向: 机械加工。