

高精度矩形弯铜波导管加工研究

张胜平, 高小红, 董新汉

(中国电子科技集团公司第二十研究所, 西安 710068)

摘要: 高精度矩形弯铜波导管一直采用制造周期长的电铸加工而成, 为了寻求快速的制造方法, 进行了系列的模具压制成形实验, 改变了凸模结构, 改进了成形工艺, 快速地制造出合格的产品。

关键词: 高精度矩形弯铜波导管; 电铸成形; 压弯成形; 补偿厚度

中图分类号: TG316.1⁺4 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)01-0066-03

Research on Processing High Precision Rectangular Bend Copper Waveguide Tube

ZHANG Sheng-ping, GAO Xiao-hong, DONG Xin-han

(The No. 20 Institute of China Electronic Technology Corp., Xi'an 710068, China)

Abstract: The high precision rectangular bend copper waveguide tube was generally processed by electroforming with long manufacturing period. In order to find a quick manufacturing method, a series of pressing shaping tests were performed. The top mould was modified and the shaping technology was improved. The qualified products have been rapidly manufactured.

Key words: high precision rectangular bend copper waveguide tube; electroform shaping; bending shaping; compensation thickness

比较器是某系列雷达产品共有的整件之一, 是天线接收信号的重要组成部分。比较器由 8 种 11 个弯波导、2 种 4 个扭波导、1 个辐射器、若干垫片和法兰等组成。其工作原理是由辐射器接收信号后, 在波导管中分 4 路传播, 波导管的内腔形状和传播总长度误差会使电磁波产生相位偏移, 直接影响天线的电性能指标。每路波导管由若干不同的弯型波导管连接而成, 单路展开长度 453 mm, 两路长度相差在 0.186 mm 内才能满足要求, 因此单个零件的尺寸精度要求很高。三维弯波导如图 1 所示, 两波导中心尺寸为 131.7 ± 0.05 mm, 其尺寸精度为 IT9。几十年来, 为了保证其精度, 笔者所在研究所生产中采用电铸法成形, 但其生产周期长, 加工成本高。为了改善这一状况, 在 20 世纪采用标准直波导压弯成

形和接箍的方法进行了多次相关的试验, 但都没有取得成功。为了满足批量化生产的需要, 再次进行了一系列的工艺试验, 找出了影响弯波导管成形精度的主要因素, 改进了标准直波导压弯成形的工艺方法, 制造了一套比较器弯波导, 装配后进行电性能测试, 各项指标均满足要求。

1 矩形弯铜波导管简介

组成比较器的 8 种弯波导中有“V”型、“Z”型、“U”型、三维弯波导等, 其中三维弯波导最为复杂, 如图 1 所示。

图 1 中除口部尺寸外, 其他带公差尺寸的目的是保证若干个波导管装配后的总长度在公差范围之内。

收稿日期: 2009-09-20

作者简介: 张胜平(1972-), 男, 湖北黄冈人, 高级工程师, 主要研究方向为工业装备设计。

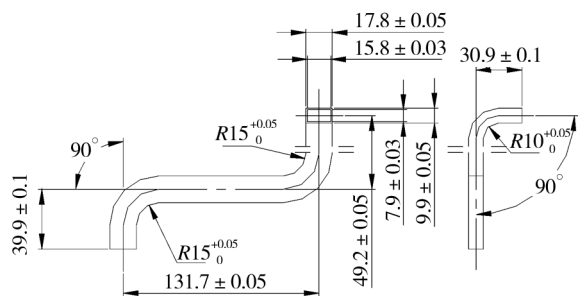
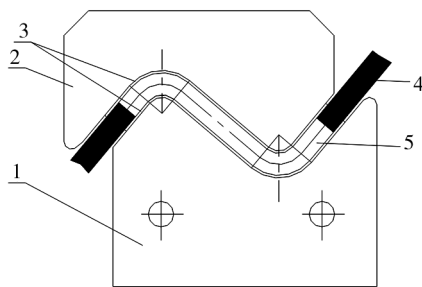


图1 三维弯波导

Fig. 1 3D bend waveguide



1. 凹模 2. 凸模 3. 上下垫带 4. 内填钢带 5. 二维“Z”型波导

图2 原波导压弯成形模

Fig. 2 Original waveguide bending shaping mould

2 矩形弯铜波导管电铸工艺流程

矩形弯铜波导管电铸造的工艺流程为:备料(铝块)→铣四边→去毛刺→去应力退火→线切割外形→研磨外表面→电铸成形→去保护部分电铸瘤和划线→铣外形→去毛刺→腐蚀铝芯→清理→表面处理。其中线切割外形、电铸成形、腐蚀铝芯工序时间长,前6道工序是制造芯子。此方法适合单件生产,每一件铝芯只能成形一件波导。波导管内腔尺寸靠铝芯保证,其他尺寸靠铣削加工保证。

3 矩形弯铜波导管原压弯成形工艺

1) 三维弯波导存在异向弯,在填充钢带^[1]的情况下,不能整体压弯成形。采用的方法是同向弯一次压弯成形,后接箍焊接成整体,故三维弯型波导需要分成“V”型和二维“Z”型2个零件。2处 R15 mm 在一副模具上完成, R10 mm 在另一副模具上完成。在应用常用波导压弯模架的情况下,另需要设计2个凸模和2个凹模。成形2处 R15 mm 的压弯模如图2所示。

2) 压弯模的工作过程:凹模装入模架内,2孔中穿入2螺钉防止凹模横向移动,填满钢带的波导管上下各垫2 mm 的钢带,凸模在油压机压力的作用下向下移动压弯波导。

3) 上下垫带的利与弊:可以减少滑动摩擦力和压弯力,并保证压弯后,凹模不离开模架,手动可以顺利取出凸模和波导管;垫带的厚度随着不同的操作者和批次不同,其成形尺寸 131.7 ± 0.05 mm 和 R 不稳定。

4) 抽钢带过程:凸模、波导管、凹模分离后,波

导管成为自由状态,在抽力的作用下2处 R15 mm 变形增大。

5) 凸模和凹模的设计均采用合金工具钢 CrWMn,淬火后,线切割成形部分。目前国内尚无波导管压弯成形受力、变形的理论分析和量化计算的相关文献,其原因是压弯成形的影响因素多且不一致,因此试验法是确定弯曲回弹值和弯曲半径的最好方法。笔者所在研究所采用压弯角度为 90° ,一般回弹值为 1.5° ,压弯 R15 mm 的凸模半径一般减少 R1.3 mm,因此凸模半径为 R11.7 mm 和 R31.5 mm,角度均为 87.5° 。

6) 成形结果:尺寸 131.7 ± 0.05 mm 无法保证, 90° 角度变形大, R 处内侧变厚,外侧变薄,实际中心线外移,内侧变厚和外侧变薄同时造成直臂部分壁厚逐渐变化。因内填钢带的作用是保证壁厚的变化不会使内腔尺寸发生变化,同理凸模和凹模的形状使波导管的外尺寸不发生变化,如图3所示。图3

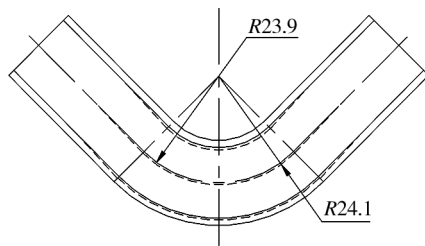


图3 压弯

Fig. 3 Press bending

中实线为理论壁厚分布,虚线为实际壁厚分布。波导管总长度变长,如一道弯弧长增长 0.314 mm,直臂部分的长度也变长,但因直臂的长度不同而变化不同。若干个波导管装配连接后,长度积累误差会

很大。

7) 波导管压弯后需要校形,主要靠人工来完成。检测量为游标卡尺和角度尺,不同的操作者存在差异,因此角度很不稳定。

4 矩形弯铜波导管现压弯成形工艺

1) 为了克服多件矩形弯铜波导管压弯后的尺寸不一致,现压弯成形工艺去掉了上下垫带。去掉上下垫带的目的是保证压弯成形后凸模、凹模、波导管3者在无外力的作用下仍旧保持压弯成形时的紧密闭合状态。保持紧密闭合状态的好处是可以利用压弯模具限制波导管在抽钢带时的变形。凸模和凹模不仅仅完成成形,还起到校形的作用。上下垫带去掉后,压弯成形时摩擦阻力增大,压弯力增大,并且两数值的增大没有造成波导管表面的任何缺陷。提高凸模和凹模工作面的粗糙度值和加润滑油可以有效地减小摩擦阻力和压弯力。

2) 为了保证凸模、凹模、波导管三者在抽钢带力的作用下仍旧保持压弯成形时的紧密闭合状态,设计了通用夹紧工装。该工装强度高,刚性好,实现了在夹紧的状态下抽带。只要将各种压弯凸模和凹模的相关尺寸设计在规定范围内,就可以反复使用。

3) 波导管的内腔尺寸主要取决于内填钢带的厚度和宽度,宽度尺寸在制作时确定了,厚度是由若干片钢带叠加而成,因此控制厚度是重要工步。原压弯成形工艺检测叠片厚度是在钢带穿完后进行,受空间的限制只能在10~20 mm的范围内测量厚度,叠片之间的压不实容易造成测量误差。新压弯成形工艺要求穿带前叠片在虎钳上至少夹紧长200 mm左右才能确定叠片组合,一般控制叠片组合的厚度尺寸偏差为 ± 0.03 mm。

4) 为了保证波导管内腔长度中心线在压弯成形后与理论位置偏离值较小,根据经验值,预先修正模具工作部分尺寸,便可以使弯曲出来的精度更符合预期的要求^[1]。现压弯成形工艺在凸模和凹模的外R处设计上作了大量的改动,内R处不作改动,如图4所示。图4中实际轮廓线为改动后的形状,理论线为改动前的形状,实际轮廓线与理论线之间的空间是存放压弯成形时内侧壁厚变厚的多余量。通过剖开成形后的波导管,长度中心线偏离值最大处为0.05 mm,而旧压弯成形工艺时偏离值最

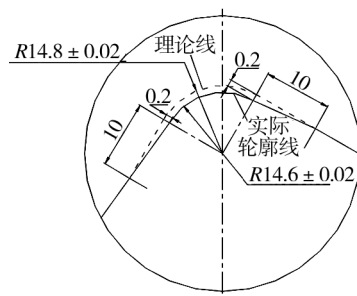


图4 放大凸模和凹模的外R处

Fig. 4 Enlarged drawing of external R of top and lower mould

大处为0.2 mm。图4中尺寸10是根据直边长度来确定的,直边越长,该尺寸就应该越大,一般取直边长度的一半。

5) 尺寸 49.2 ± 0.05 靠铣削两波导长度和接箍工序来保证,两波导长度公差采用尺寸链计算方法分摊。在铣削接箍台阶时,将两波导对接起来,内腔用芯子定位;铣削完毕后,去掉芯子。在银焊过程中控制焊料,保证焊牢,又不能让焊料进入内腔;另外夹紧两波导,保证两波导连接处紧密接触。

6) 为了保证矩形弯铜波导管的宽度截面尺寸在长度方向上不发生扭曲,对凸模和凹模的厚度尺寸作了改变。原来凹模比波导管厚度大0.03 mm,凸模比波导管厚度小0.03 mm,两夹板之间的距离由凹模厚度确定,因此压弯时波导管存在摆动的可能。新设计要求凸模和凹模的厚度尺寸都比波导管厚度小0.03 mm,压弯时波导管与两夹板成H7/h6滑动配合,大大地减少了波导管的摆动。

7) 凸模和凹模的材料改成45号优质碳素结构钢,淬火HRC40~45即可,减少了锻造工序。去掉凹模上两孔,将两螺钉装在宽度外两边,有利于压弯后快速取出凸模、波导管、凹模的组合体。

8) 波导管压弯成形后需要校形,人工校形较为麻烦,校形后检验也比较繁琐,为此设计了专门的校形加检验工装。先人工大概校形,再将波导管放入工装,能放入就说明波导管的尺寸符合要求,不能放入再人工校形,直到可以放入。实际上校形主要就是校角度。工装的设计不能按理论壁厚的方法设计,要考虑实际壁厚的分布,因此内R处就必须按照如图4所示设计。

(下转第84页)

析总结了零件的加工工艺和数控编程流程,探讨了采用CAD软件和Mastercam X数控编程软件的数控编程方法。贮箱支架加工完成后对其进行了检验,单个支架总质量分别为22.4 kg和22.6 kg,上下两平面平面度为0.2 mm,各孔相对位置准确,壁厚均匀,各项参数均满足设计要求。贮箱支架实物如图9所示。

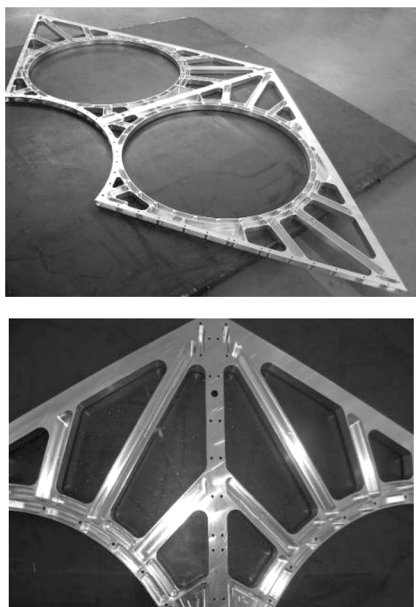


图9 贮箱支架实物

Fig. 9 Real tank frame

实践证明,某型号卫星贮箱支架零件高效加工工艺方法的应用和工艺参数的选择是合理的,为以后此类大型框架式薄壁类零件的数控加工提供了参考。

参考文献:

- [1] 高慎斌. 卫星制造技术[M]. 北京:宇航出版社,1998:287-289.
- [2] 支道光. 机械零件材料与热处理工艺选择[M]. 北京:机械工业出版社,2008:188-190.
- [3] 徐宏海. 数控机床刀具及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:78-80.
- [4] 孟少龙. 机械加工工艺手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991:101-105.
- [5] 潘子南. Mastercam X 基础教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:21-24.

(上接第68页)

5 现压弯成形工艺流程

现压弯成形的工艺流程为:备料(波导管)→铣长度→去毛刺→去应力退火→清理→校形→压弯并校形→铣长度→去毛刺并校形→钳-焊(接箍)→清理并校形→表面处理。

6 结语

应用现压弯成形工艺成形一套比较器的波导与

应用电铸工艺生产制造相比,成本从50000元减至20500元,节约29500元;制造周期从50天缩短至15天。现压弯成形工艺比原压弯成形工艺能有效地提高成形尺寸的精度和一致性,对某些尺寸精度要求高的弯波导管的成形用现压弯成形代替电铸工艺,可以降低生产成本、大大缩短制造周期。

参考文献:

- [1] 肖祥芷,王孝培. 中国模具设计大典[M]. 江西:江西科学技术出版社,2003:183.