

铝波导天线真空钎焊

www.yzpst.com

[摘要] 多卜勒雷达天线精度要求高、结构复杂, 从而进行多级真空钎焊, 并采用了真空补焊新工艺, 使真空钎焊铝波导天线有了可靠的质量保证。

1 引言

铝波导天线, 国外常用浸沾钎焊方法来连接, 这种方法虽然生产效率高, 但所用钎剂具有强烈腐蚀性, 而且很难清洗彻底, 若有残渣夹在钎缝内, 则会形成故障隐患, 同时还必须使用专用粉末钎料, 对生产有很大限制。

采用真空钎焊铝波导天线的优点是变形小, 钎焊时不用钎剂, 钎焊接头也不会发生腐蚀性, 焊后不需清洗, 简化了生产工序, 保证了产品的精度。

由于铝波导多卜勒雷达天线结构复杂, 对钎焊精度、钎焊间隙、钎焊温度控制的精确度要求较高, 一次钎焊难以完成, 这就给真空钎焊工艺带来了许多新问题。现以多卜勒雷达天线为例, 阐述铝波导真空钎焊的研究。

2 铝波导多卜勒雷达天线

多卜勒雷达天线分为发射天线和接收天线两种, 是由面阵、馈线、附柱、短路片和法兰盘组成。发射天线尺寸为 165 mm×175mm, 先由两根裂缝波导拼焊成 4 组, 然后焊上直馈线、法兰盘、短路片及 4 个附柱。接收天线为 115 mm×165mm, 其面阵由 7 根裂缝铝波导一次焊成, 再焊上弯头馈线、短路片及 4 个附柱。其典型钎焊接头形式如图 1 所示。

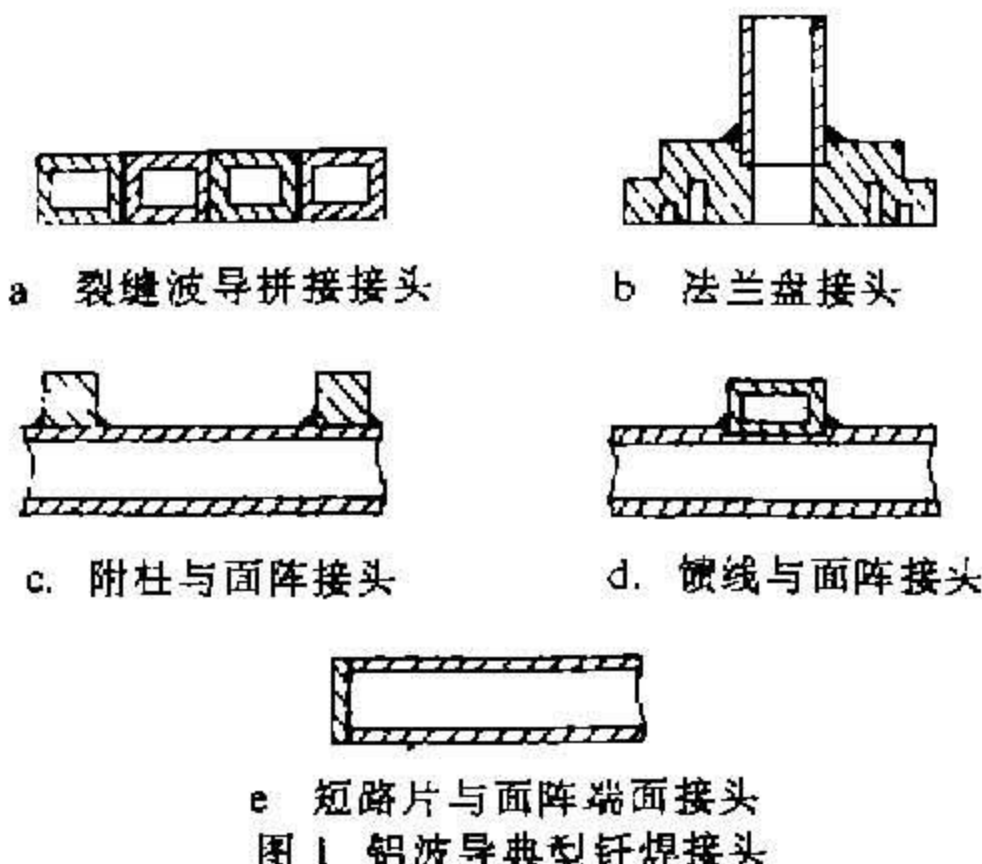


图 1 铝波导典型钎焊接头

3 真空钎焊工艺

真空钎焊是在冷壁式真空钎焊炉内进行的, 其

有效加热尺寸为 330 mm×320mm, 在升温过程中真空度始终不低于 8×10^{-3} Pa, 其典型加热曲线如图 2 所示, 工艺盒外的温度比盒内温度高 25℃ 左右。

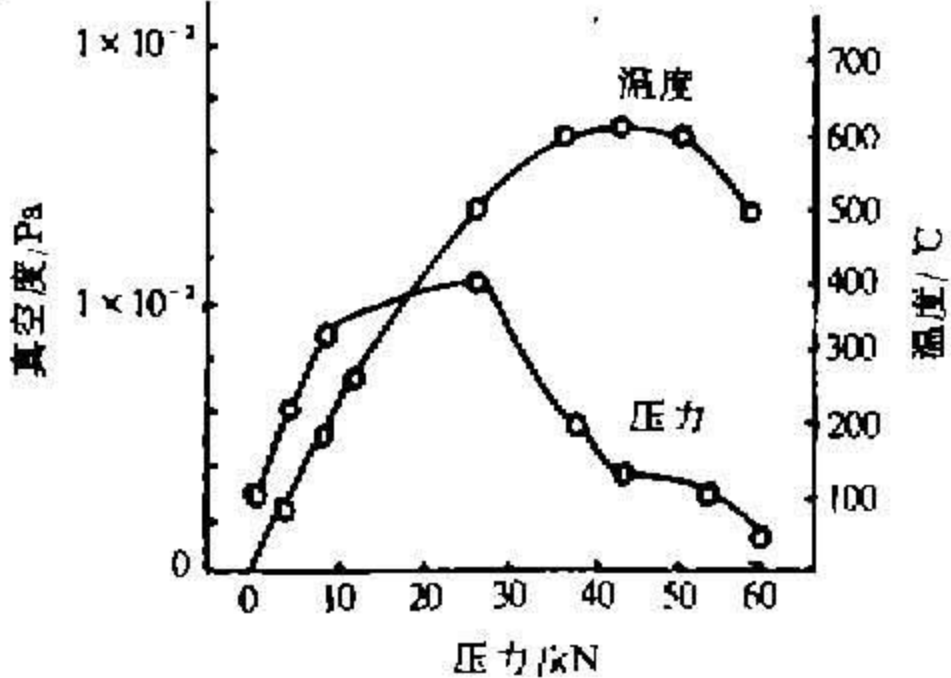


图 2 加热曲线

铝波导材料为 LF21 铝锰合金, 所用钎料为 Al-Si-Mg-Bi 系列, 其成分如表 1 所示。固、液相线温度用差热分析仪测定。

表 1 钎料成分及编号

编号	钎料成分	熔化温度/℃	
		固相线	液相线
1	Al-Si-Mg	560	605
2	Al-Si-Mg-Bi	554	579
3	Al-Si-Mg-Bi	554	569

多卜勒雷达天线的精度要求很高, 其表面不平度 $< 40 \mu\text{m}$, 长度偏差不超过 $\pm 200 \mu\text{m}$, 馈线与面阵垂直度 $< 20 \mu\text{m}$, 馈线与自身对称度 $> 40 \sim 60 \mu\text{m}$, 同时由于雷达天线需经装配、机械加工、以及有精度的要求, 全部零件不能一次钎焊完成, 所以必须采用均匀加热的分级钎焊方法才能满足天线的精度及技术要求。

多卜勒雷达天线的发射天线与接收天线真空钎焊工艺基本相同, 现以结构复杂的接收天线为例。

首先将 7 根裂缝波导拼焊在一起, 同时也将附柱焊上。为了保证精度要求, 裂缝波导必须在专用夹具上组装和定位, 采用厚度为 0.12mm 的 1 号片状钎料, 装配时将钎料片夹在裂缝波导管之间, 因此在裂缝波导管之间, 应预留一定的间隙, 间隙过

大则会发生填不满和流失现象。钎料片的宽度应稍大于裂缝波导管的宽度 2mm 左右。装配完毕后用小电流氩弧焊,在裂缝波导管两端头两面交叉定位。定位不良,则会使面阵发生挠曲,影响雷达天线面阵的不平度。

将定位后的面阵从夹具中取出,并安装附柱。附柱由于钎焊后还需加工,所以用划线定位法,仍用 1 号钎料片夹在附柱与面阵之间。保证面阵焊缝紧密贴合及附柱与面阵表面良好配合,然后放在真空钎焊炉中的工艺盒内,在平台上进行钎焊。钎焊温度为 $633 \pm 1.5^\circ\text{C}$,保温 2.5min,真空度不低 $8 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 。只要装配合适,钎焊规范正确,钎焊质量是完全可以保证的。

其次是馈线、法兰盘的钎焊。馈线与法兰盘接头由于盘间位置复杂,必须在雷达天线总装配前进行钎焊。馈线与法兰盘接头须使用块状钎料,依靠钎料溶化后的流动填充间隙。但是真空钎焊时,钎料的流动能力很弱,可以采取以下措施提高钎料填充间隙的能力。

① 用流动性比较好的 2 号钎料。

② 为净化炉内和工艺盒内残存的微量氧气,保护铝不被氧化,应在工艺盒内工件周围放置适量高纯镁块。

③ 在焊缝处进行机械打磨,提高钎料的流动性和填缝能力。

真空钎焊温度为 $625 \pm 1.5^\circ\text{C}$,保温 2min。

最后进行总装钎焊,即将短路片和馈线以及机加到规定尺寸的面阵钎焊。馈线和面阵相对位置是依靠专用夹具保证,并用激光点焊定位。由于馈线和面阵接头内无法安置片状钎料,故也采用块状钎料。短路片与面阵端面的钎焊是采用 0.1mm 的 3 号片状钎料夹于其间,为保证短路片与端面紧密接触,须用不锈钢夹子夹紧。装配好的雷达天线放在真空钎焊炉内工艺盒里的平台上,并附加适量的高纯镁块。钎焊温度为 $610 \pm 1.5^\circ\text{C}$,保温 2min。

真空钎焊后的多卜勒雷达天线尺寸精度完全满足设计要求。

4 真空钎焊工艺中应注意的几个问题

① 多卜勒雷达天线是分 3 次钎焊而成的,每次钎焊所用的钎料不同,它们的液相线温度也不同。但由于它们是同一种合金系,成分差别不太大,所以它们的固相线温度基本相同。故在钎焊时,第一次钎焊温度最高,最后一次钎焊的温度最低,后者接近 1 号钎料的液相线,高于 1 号钎料的固相线。由于钎料和零件的相互溶解和扩散,导致钎焊后焊缝重溶温度提高。实验证明,后一次钎焊

不会对前一次钎焊接头产生不良影响,只要严格控制钎焊温度,分级真空钎焊铝合金是完全可以进行的。

② 真空钎焊铝合金对间隙要求很严。片状钎料夹于零件之间时,必须使钎料与零件紧密贴合,最后在钎焊前用夹子适当夹紧,使钎料与零件接触面在钎焊温度下受到一定的压力。

依靠钎料流动而填充间隙的接头,对接头间隙要求也很严格。一般间隙应小于 0.05mm。馈线与面阵钎焊时,设计要求钎料填充深度为 1mm,以零间隙为最好,否则钎料会流到波导内腔的棱角上而影响雷达电磁波的反射。

③ 对依靠钎料流动而填满间隙的接头,应放在工艺盒内再进行真空钎焊,并在盒内工件周围放置适量高纯镁块。

④ 机械打磨对钎缝成形及钎料流动均有良好作用。

⑤ 铝合金真空钎焊对湿度很敏感,相对湿度越小,其钎焊质量越易保证。一般来讲,应在相对湿度小于 75% 以下进行。

5 真空补焊

在试验中发现,铝波导雷达天线真空钎焊时出现的缺陷一般是间隙不当造成的。主要是钎缝不连续,影响了雷达天线的电性能。现已找到了一种真空补焊的补救措施。

真空补钎应在温度比较低,也就是比钎焊温度低的情况下进行。如果补钎温度过高,钎缝易产生溶蚀,即缺陷处虽已补焊好,而其它钎缝又会出现缺陷。此外,补钎温度高也会影响雷达天线的精度。经研究和多次实验后,采用一种新的补钎工艺,使补钎温度控制在 $595 \sim 600^\circ\text{C}$ 。这对钎焊好的钎缝来说,或处于刚溶化状态、或处于固、液相线之间。因此补钎过程对钎缝质量和工件尺寸不会产生任何不良影响。

由于真空补钎技术研究成功,使铝合金真空钎焊成功率大大提高,对工件的机械加工精度和装配要求可适当降低。这对铝波导雷达天线的真空钎焊具有重要意义。

6 结论

铝合金真空钎焊试样经拉伸试验均沿母材破坏,平均抗剪强度为 120N/mm^2 。

钎焊后的雷达天线经 3% NaCl 人造海水浸泡 15 天或在北京放置 5 年均未发生腐蚀现象。

真空钎焊 5 套多卜勒雷达天线经电性能测试,全部达到设计要求,安装在国产高空无人驾驶飞机上,收到了较好的效果,值得运用推广。