

雷达裂缝天线焊接工艺改进

曾天俊

扬州恒星精密机械有限公司 江苏扬州 225127

摘要: 裂缝天线雷达在航空航天领域中应用广泛,雷达波频段越高,对制造精度要求也越高,尤其是焊接工艺的选择对其产品质量有决定性影响。此产品结构特点为多层、薄壁零件精加工后通过钎焊形成微波通道。目前常用焊接工艺为盐浴钎焊,但由于盐浴钎焊存在污染严重、焊后难以清洁残留盐液、焊接变形量大等缺点,通过介绍工艺结构的改进,采用真空钎焊替代盐浴钎焊,既环保又能满足产品质量要求。

关键词: 真空钎焊;盐浴钎焊;毛细钎焊;夹层钎焊

1 序言

扬州恒星精密机械有限公司专业从事航空航天领域雷达产品结构件加工与焊接,承接过机载、弹载、车载等多领域裂缝天线制造。裂缝天线又叫缝隙天线,是在金属板上开缝用于电磁波的发射和接收,由于电波功率分配与传输的需要,一般由多层开槽的金属板叠加焊接形成微波通道,层与层之间通过缝槽进行电波功率耦合形成一个完整的电波传输系统。钎焊工艺是整个制造过程的关键工艺。目前常用焊接工艺为盐浴钎焊,盐浴钎焊是将预置好

钎料的待焊工件整体浸入高温盐混合溶液,依靠高温液体介质热量来实现钎焊过程的一种方法。但由于近年来国家环保要求的提高,盐浴钎焊属限用工艺,因此要求寻找新的焊接工艺,根据产品结构特点,并结合实际焊接条件,选用真空钎焊工艺既环保又经济。真空钎焊是将预置好钎料的待焊工件放入真空炉内,在真空环境下通过炉膛升温、保温、冷却来实现钎焊过程的一种方法^[1, 2]。由于加热方式的改变使焊接变形量减小,焊接成品率大幅度提高。天线外形如图1所示。

度,弯曲试验合格。③BS700MC钢+BS700MC钢焊接接头强度接近于母材的强度,弯曲试验合格。④BS700MC钢+40Cr钢焊接接头强度接近母材的强度,弯曲试验合格。

3 结束语

1) 经过对母材(BS700MC钢、40Cr钢、Q460C钢)三种材料的化学成分进行检测,满足相关标准要求且与材质说明书保持一致。

2) 通过焊接工艺性能试验,结论如下:BS700MC钢+Q460C钢焊接、40Cr钢+Q460C钢焊接、BS700MC钢+BS700MC钢焊接、BS700MC钢+40Cr钢焊接均建议选用SLD-70, $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝,混合气体保护焊($\text{Ar}80\%+\text{CO}_220\%$),气体流量 $15\sim 20\text{L/min}$,推荐的焊接参数为焊接电流 $150\sim 240\text{A}$,电弧电压 $18\sim 26\text{V}$,40Cr钢焊接前需进

行预热,预热温度 $100\sim 150^\circ\text{C}$,可获得优良的焊接接头性能。

3) 目前,BS700MC高强度钢已在勾臂车上推广应用,完成了高于行业标准的可靠性试验,焊接性能已验证合格,满足产品使用要求。

参考文献:

- [1] 魏守盼,李柏松,黄华强.Q690D低合金调质高强度钢焊接冷裂纹敏感性研究[J].金属加工(热加工),2019(12):12-14.
- [2] 宝钢股份有限公司.工程机械用高强度热连轧结构钢[Z].2009.
- [3] 杨少云,刘效春.Q460C低合金结构钢的焊接[J].煤矿机械,2005(5):99-100.
- [4] 张现杰,杨伟岗,左振双.Hardox400钢焊接工艺实践[J].金属加工(热加工),2014(4):82-83.

MW 20200825

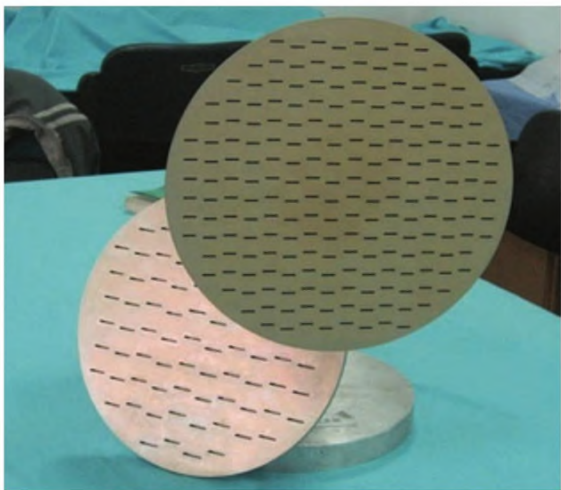


图1 天线外形

2 产品典型结构及技术要求

此类产品一般有3~6层薄壁波导腔叠加，材料一般为3A21、6061等铝合金，层与层之间通过钎焊成为一个整体，内部含有激励缝、耦合缝、匹配块等电讯结构，每层零件相对位置要求准确，大面焊接变形量小于0.5mm，各电讯结构加工精度±0.02mm以内，波导腔粗糙度值要求优于0.8μm，焊缝质量要求满足QJ-2844 II级标准，外形尺寸300~950mm，壁厚一般0.8~1mm，焊后各波导腔进行0.8MPa气密性检测，典型结构如图2所示。

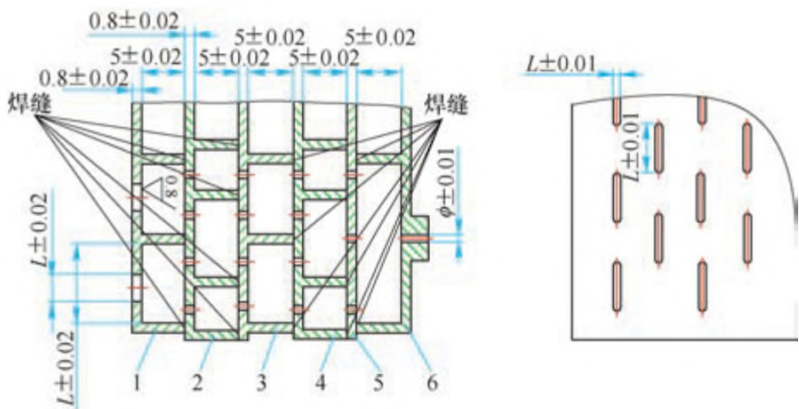


图2 典型结构

- 1.辐射腔体层 2.馈电腔体层 3.功分腔体层
- 4.和差腔体层 5.组合腔体层 6.波导盖板层

3 焊缝成形原理及工艺方法对比分析

此类产品原设计结构是按盐浴钎焊工艺设计的焊接结构，焊缝间布置箔状钎料，焊缝通过机械加工时预留的棒头柱胀铆压紧，焊接过程中靠焊料熔化后的毛细作用和液态钎料流动填满焊缝间隙，属典型毛细钎焊。而真空钎焊工艺属夹层钎焊，需增加焊缝面积和零件承载的刚性，将箔状钎料放置于缝隙之间，在焊件表面加载压块，靠压块的重量动态压紧焊缝，焊料熔化后液态钎料润湿母材表面并

在焊缝表面铺展形成焊缝^[3]。另外，两种焊接工艺去膜机理也不一样，铝合金极易氧化，表面形成一层非常致密且熔点极高的Al₂O₃氧化膜，盐浴钎焊是靠焊剂在待焊工件表面沸腾破碎分解Al₂O₃氧化膜^[4]，而真空钎焊无需焊剂，是靠活性更强的Mg蒸气置换分解Al₂O₃氧化膜。具体工艺方法对比见表1，图3为盐浴钎焊装配过程，图4为真空钎焊装配过程。

表1 工艺方法对比

工艺	盐浴钎焊	真空钎焊
工艺流程	预装→清洗→装配→预热→焊接→清洗	预装→清洗→装配→焊接
焊料牌号	B-Al88Si	B-Al88SiMg
熔化特性/℃	577~580	559~591
钎焊温度/℃	595~605	595~605
焊剂清洗	需要清洗焊剂	不使用焊剂，无需清洗
焊接工装	需要复杂的防变形工装固定工件	工件放在平板上用压块加载
装配要点	各零件间需要铆接大量棒头	无需铆接
焊后机械加工	无需	需要
综合评价	工艺复杂、变形量大、成品率低	工艺简单、变形量小、成品率高

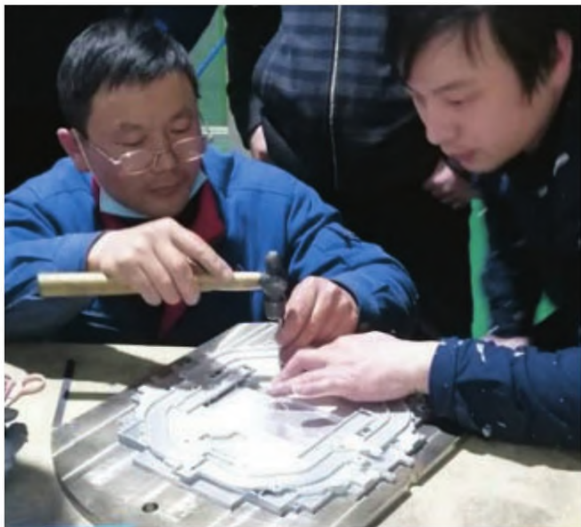


图3 盐浴钎焊装配过程

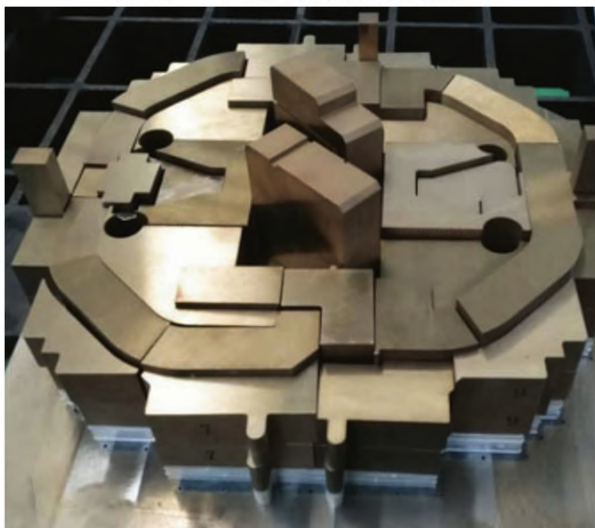


图4 真空钎焊装配过程

4 结构优化及工艺说明

通过以上分析，盐浴钎焊与真空钎焊的原理和工艺结构存在本质区别，要想采用真空钎焊工艺实现裂缝天线的焊接，必须对原焊接结构进行优化，主要优化结构如下。

1) 增加零件刚性。由于真空钎焊是通过一定重量的不锈钢压块加载，保证焊缝在焊接过程中紧密贴合，而盐浴钎焊是通过零件之间的榫头胀铆使焊缝贴合，因此真空钎焊零件需要有一定的刚性能够承载压块重量的能力，保证焊接过程中零件不变形、不移位。于是我们在焊后可加工部位增加零件壁厚并设置一些加强筋，满足焊接加载所需刚性的要求，如图5盐浴钎焊结构，图6真空钎焊结构。

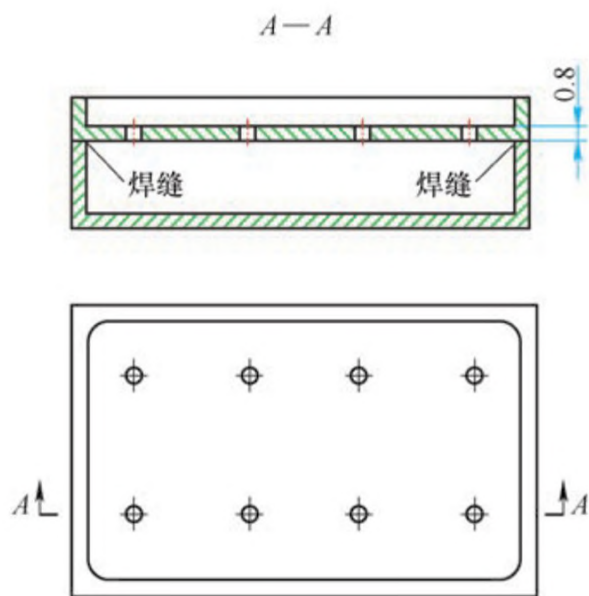


图5 盐浴钎焊结构

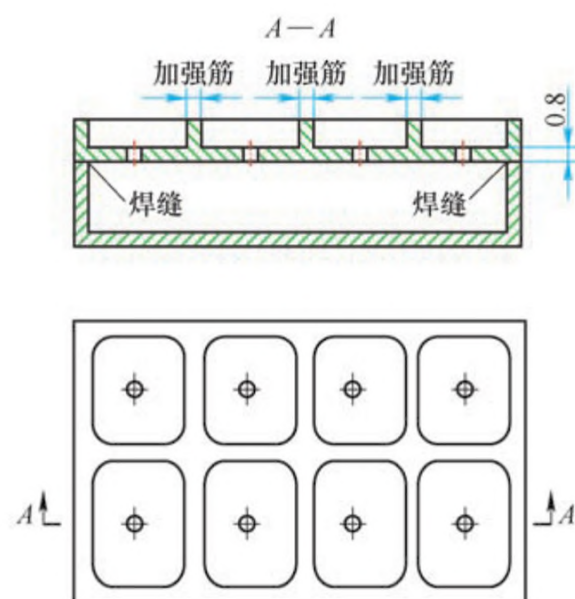


图6 真空钎焊结构

2) 增加焊接面积。钎焊工艺由盐浴钎焊改为真空钎焊，实质上是由毛细钎焊改为夹层钎焊，焊缝成形的原理不一样，焊接面宽度要作相应变化，盐

浴钎焊时焊缝宽度为0.8mm，而改为真空钎焊后为了便于焊缝可靠成形，焊缝宽度需要加宽至4mm，焊后通过机械加工的方式切除增加部分的材料，不影响产品最终结构，如图7盐浴钎焊面积，图8真空钎焊面积。

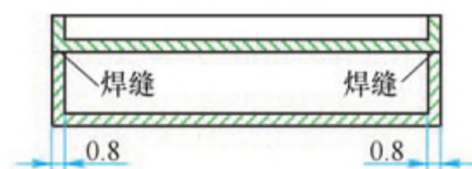


图7 盐浴钎焊焊接面积

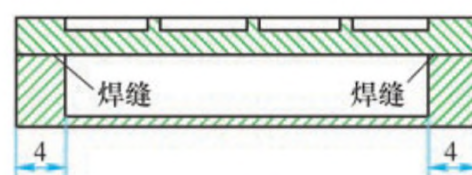


图8 真空钎焊焊接面积

3) 去除铆接榫头。由于真空钎焊是通过一定重量的不锈钢压块加载，依靠压块重力保证焊缝在焊接过程中紧密贴合，所以无需零件之间的铆接榫头。只保留少部分榫头柱且不铆接，起到零件和焊片定位作用，同时要求榫头柱装配后低于零件表面，防止影响压块的放置，如图9盐浴钎焊铆接榫头，图10真空钎焊定位销。

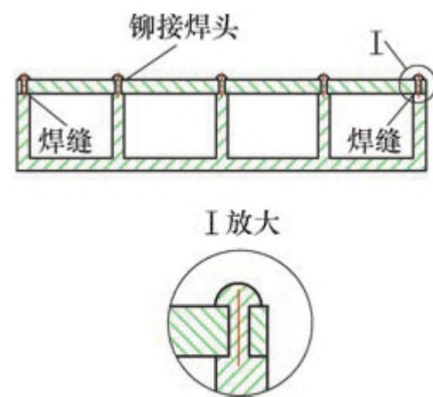


图9 盐浴钎焊铆接榫头

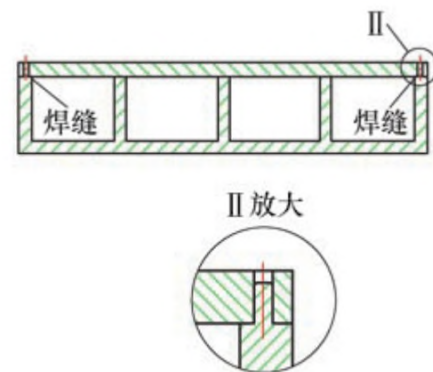


图10 真空钎焊定位销

4) 增加排气槽，由于真空钎焊是通过一定重量的不锈钢压块加载，压块加载难免会堵住原有结构的

出气孔，因此为了保证真空抽气的速率不受影响，必须增加4mm×4mm排气槽。这样既不影响压块加载，也不会影响真空抽速。排气槽设计如图11所示。

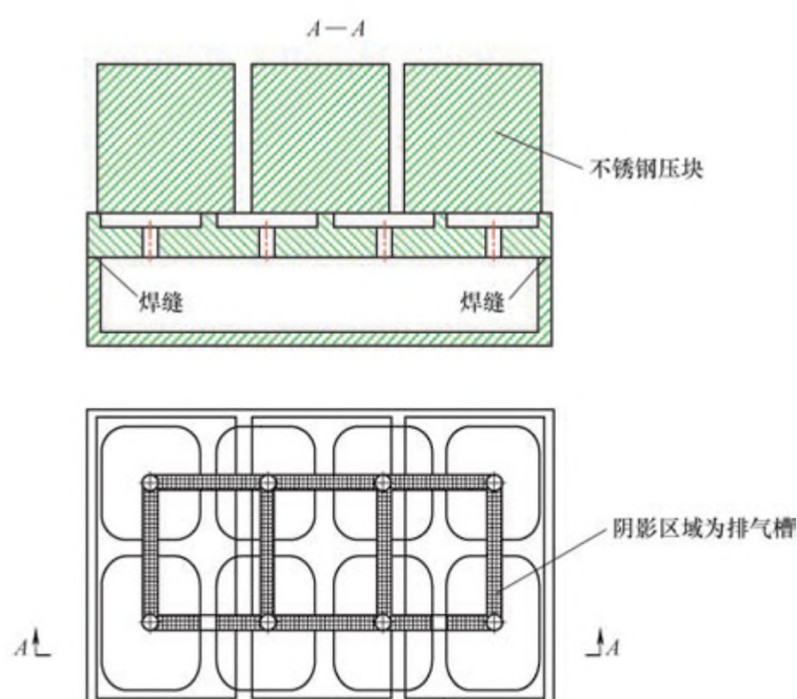


图11 真空钎焊排气槽

5 尺寸及性能检测结果对比分析

为了验证真空钎焊和盐浴钎焊两种焊接工艺的优劣性，两种工艺方案各生产10件，分别从尺寸及形位精度符合性、焊缝质量、电性能三个方面的主要指标进行检测对比。从检测数据分析，尺寸精度、气密性、钎着率都能满足设计要求，但天线阵面的平面度真空钎焊明显优于盐浴钎焊。焊缝强度通过随炉试样检测表明，真空钎焊焊缝强度高于盐浴钎焊，主要原因是真空钎焊去氧化膜更彻底。真空钎焊焊缝钎着率可达 I 级标准，提高了产品质量可靠性。电性能方面，从检测数据看，真空钎焊也是优于盐浴钎焊，驻波比仅为1.6，更有利于微波能量的传输。成品重量设计要求小于1500g，通过检测真空钎焊方案平均轻20g，主要原因是真空钎焊去除了铆棒结构。具体检测结果见表2。

表2 检测结果对比

主要技术指标	盐浴钎焊 (10件)	真空钎焊 (10件)
尺寸精度 $\pm 0.02\text{mm}$	合格	合格
焊接变形 $<0.5\text{mm}$	0.25~0.5mm, 平均值0.42mm	0.1~0.2mm, 平均值0.16mm
接头强度 $>90\text{MPa}$	随炉试样 $\sigma_b=96\text{MPa}$	随炉试样 $\sigma_b=130\text{MPa}$
气密性 $>0.8\text{MPa}$	合格	合格
钎着率 II 级	QJ-2844, II 级	QJ-2844, I 级
驻波比 <2.0	1.7~1.9, 平均值1.8	1.5~1.7, 平均值1.6
增益 $>30\text{dB}$	30~34dB, 平均值32dB	33~35dB, 平均值34dB
副瓣 $<-28\text{dB}$	25~28dB, 平均值27dB	24~28dB, 平均值26dB
成品重量 $<1500\text{g}$	1450~1500g, 平均值1475g	1440~1460g, 平均值1455g
成品率	60%, 合格6件	90%, 合格9件

6 结束语

通过以上工艺结构的改进，裂缝天线真空钎焊工艺流程不仅相对简单、焊接变形量小、接头强度提高，而且无需使用腐蚀性钎焊剂，不存在高盐溶液等危化品的处理问题。总之，真空钎焊工艺同样实现裂缝天线的焊接，真空钎焊各项性能指标优于盐浴钎焊，成品率提高30%左右，不仅提高了天线焊接质量，而且解决了盐浴钎焊的污染与腐蚀问题。在当前国家提倡节能、环保制造的背景下，真空钎焊工艺方案具有很好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 黄微.关于插接+搭接复合式接头真空钎焊的钎料使用[J].金属加工(热加工), 2019(7): 95-96.
- [2] 杜森 P.萨古利奇.先进钎焊技术与应用[M].北京:机械工业出版社, 2019.
- [3] 史耀武.中国材料工程大典[M].北京:化学工业出版社, 2006.
- [4] 张启运, 庄鸿寿.钎焊手册[M].北京:机械工业出版社, 2008.

MW 20200825