

宽带馈源产品一体化熔模精密铸造新工艺

刘正勇¹ 张永红¹ 林晨阳¹ 李甫迅¹ 刘月其²

(1.中国电子科技集团公司第二十九研究所工艺部; 2.成都瑞华机械制造有限公司)

摘要 采用石膏型熔模精密铸造工艺铸造了宽带馈源一体化铸件,通过对其内部组织、尺寸精度、电性能、环境试验等进行测试,发现其测试值完全满足设计要求,并且一致性比相同机加件优良。该铸件整体制造工艺生产效率高、生产成本低。

关键词 宽带馈源;精密铸造;电性能

中图分类号 TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.09.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



New Process of Integration for the Wideband Feed Product by Investment Casting

Liu Zhengyong¹, Zhang Yonghong¹, Lin Chenyang¹, Li Fuxun¹, Liu Yueqi²

(1.Department of Technology, the 29th Research Institute of CETC;

2.Chengdu Ruihua Machinery Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: The integration of wideband feed components by investment precision casting was introduced. The internal microstructure, dimensional accuracy, electrical performance and environmental test of monolithic wideband feed products were tested, which fully meet design requirements, and have a superior consistency to the same machined products. In conclusion, the new process achieves higher efficiency and lower cost.

Key Words: Wideband Feed, Investment Casting, Electrical Performance

某宽带馈源产品截面呈梯形空心并具有拓展带宽的内芯结构(见图 1),属于高增益天线功能结构产品,被广泛应用于微波的能量和信息传输^[1]。为了保证宽带馈源产品的功率容量损耗和衰减较低、色散尽量小,要求所传输波型为单一模式,宽带馈源天线产品需具有比较高的内腔壁表面粗糙度(内壁 Ra 要求达到 1.6 μm)和尺寸精度(精度达±0.05 mm)。宽带馈源功能结构产品的制造技术在国内外报道很少,可借鉴和参考的资料很少。在国内通用的生产工艺是将产品拆解成 10 多个零部件,通过机械切削、线切割、钎焊等 100 多道生产工序,并用很多紧固件组合装配而成。该生产工艺复杂繁琐,效率低、周期长、成本高。另外,由于在制

造过程中要经过一百多道加工工序,会产生较大的加工累积误差,产品品质一致性较差;采用紧固件连接,会严重降低宽带馈源产品密封性和结构整体性;而且焊接外形不美观,钎剂会溢流到内腔产生堆积难以清除,从而导致部分成品报废。

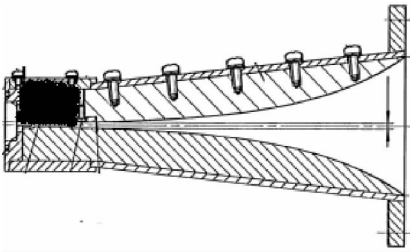


图 1 传统宽带馈源机加工件

Fig.1 The traditional wideband feed products

收稿日期:2020-12-05;修改稿收到日期:2021-02-15

第一作者简介:刘正勇,男,1968 年出生,高级工程师,成都(610036),E-mail:Liuzhyong@163.com

引用格式:刘正勇,张永红,林晨阳,等. 宽带馈源产品一体化熔模精密铸造新工艺[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9):1 181-1 183.

LIU Z Y, ZHANG Y H, LIN C Y, et al. Newprocess of integration for the wideband feed product by investment casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(9):1 181-1 183.

[2] DINI H, ANDERSSON N E, JARFORS A E W. Effect of process parameters on distortion and residual stress in high-pressure die cast AZ91D components after clean blasting and painting[J]. International Journal of Metal Casting, 2020, 15(1): 18-20.

[3] 江昌勇. 压铸成形工艺与模具设计[M]. 北京:北京大学出版社, 2012.

[4] 王鹏驹,殷国富. 压铸模具设计师手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.

[5] 黄勇,黄尧. 压铸模具设计实用教程[M]. 北京:化学工业出版社, 2011.

[6] 张芳. 阀体压铸工艺设计及优化[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(12): 1 353-1 356.

[7] 徐秋湘,赵占西.工艺参数对铝合金梯级铸件压铸过程的影响[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(5): 518-521.

[8] 张国强,赵占西,勾健,等.壳体压铸工艺设计及优化[J].铸造, 2020, 69(5): 501-505.

(编辑:张正贺)

为了解决传统生产工艺存在的问题,采用 ZL101A 铝合金并结合石膏型熔模精密铸造工艺,将其结构一体化整体精密铸造成形,实现大批量生产,提高了生产效率和品质,降低了生产成本。

1 工艺结构优化与型腔设计

为了整体铸造出符合设计要求的宽带馈源铸件,首先将图 1 分解式结构按照一体化整体结构重新优化设计,将组成宽带馈源的梯形腔体、U 型前端腔体、后盖板、法兰盘等零件构成的围合结构与双指数脊整体设计为一个零件,取消各紧固件和焊接分拆件,优化电气互联结构,最后根据仿真优化得出的参数绘制出宽带馈源三维模型(见图 2)。因为宽带馈源产品作为微波电气功能结构件使用,结构优化是否合理还需要对其驻波比电性能进行 HFSS 仿真优化^[2],当驻波比满足 ≤ 2 时,则合格。经过对一体化结构的宽带馈源产品的电气性能仿真计算分析,驻波比最大值为 1.6,符合原设计参数指标要求。

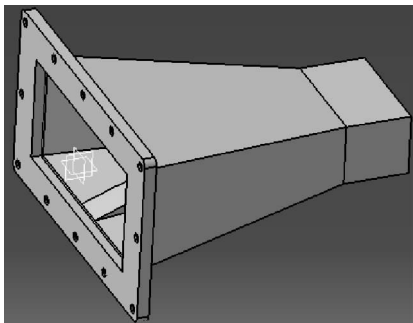


图 2 结构优化设计三维模型图

Fig.2 3D model of products after structure optimization and design

2 模具设计与制造

模具采用 7050 或 7075 高强度铝合金。将经过 HFSS 仿真优化后得到的宽带馈源三维零件进行分模设计制作。将型腔分割成 4 部分制作:①将宽带馈源分解为馈源腔主体和小端盖板两部分;②形成馈源主体外形结构的模具型腔被分割成两部分;③形成馈源主体内腔的抽芯被分割成 4 部分,两端分别抽芯;④小端盖板型腔集成到馈源腔主体外形模具中。将设计好的模型数据资料送到数控加工中心,通过编程进行加工制造、试模、检测。

3 宽带馈源整体铸造过程

3.1 蜡模、型壳制作

模料用熔点为 58 ℃ 的改性蜡基模料,其线膨胀系

数和粘度小、热强度高。蜡模成形时分别压制出馈源腔主体和小端盖板,然后将两部分通过 DG-3S 环氧胶粘接成整体。

石膏浆料由粘结剂(半水熟石膏)和耐火材料(石英粉+铝矾土)以及软化自来水按比例(质量比为 32 : 33 : 35)混合配制,配制过程中需要严格控制水膏比,保证灌浆时所需的浆料流动性、铸型强度、空气易排出以及满足宽带馈源铸件内腔的粗糙度和尺寸精度要求。

灌浆在真空条件下并结合振动装置进行,步骤如下:①真空度控制在 88~90 kPa,保证混合浆料和宽带馈源蜡件内腔中残留空气泡能最大化上浮破裂,也能保证蜡件中残留空气不膨胀,以免造成其表面起皱皮,影响铸件产品内腔粗糙度;②振动频率控制在 30 Hz,最大限度加速耐火混合浆料和蜡件内腔表面残留的空气泡迅速破裂或上浮,同时控制蜡件不破坏或变形。

3.2 焙烧工艺

灌浆后的铸型需在 25 ℃ 放置 24 h 左右^[3]。在焙烧炉中低温脱蜡,型壳焙烧温度采用阶梯方式进行,温度在 125、200、250、360、500、650、720 ℃ 时,保温时间分别为 8、10、6、5、6、4、5 h,然后随炉冷却至 300 ℃ 保温。

3.3 熔炼和浇注

采用 ZL101A 铸造铝合金,熔炼时使用无毒变质精炼混合剂进行除气除渣、孕育变质处理。将铸型放入真空压力罐内,抽真空达到 0.06 MPa 左右时,在浇注温度为 720 ℃ 时开始浇注,在 10 s 内快速完成浇注,然后在 8 s 内施压 0.6 MPa,保证铝合金在压力下凝固,获得致密组织。

3.4 后处理

宽带馈源铸件固溶处理加人工时效(T6)处理后,内腔表面经抛光处理, R_a 达到 1.6 μm 。由于宽带馈源内腔空间异形狭窄,采用流态砂抛处理工艺。经过反复试验,选择 140~200 目的刚玉砂抛光效果最好。宽带馈源铸件两端面配以简单机加工,再经化学表面处理后得到宽带馈源铸件(见图 3)。



图 3 宽带馈源精密铸件

Fig.3 Wideband feed products by investment casting

4 检测结果

4.1 尺寸、内部组织及表面质量检测

铸件尺寸经线切割剖开并用三坐标测量机进行检测(见图 4),符合图纸设计要求,铸件外表面粗糙度 R_a 为 $1.6\sim 3.2\ \mu\text{m}$,宽带馈源内腔壁表面粗糙度 R_a 为 $0.8\sim 1.6\ \mu\text{m}$ ^[4],尺寸公差精度控制在 $\pm 0.05\ \text{mm}$ 范围内。铸件内部组织经 X 射线探伤,均未发现缺陷。另外,宽带馈源铸件质量比机加工件减轻约 12.56%,实现了轻量化制造。



图 4 宽带馈源精密铸件剖切面

Fig.4 Profile of wideband feed products by investment casting

4.2 电性能检测

对精密铸造的宽带馈源铸件随机抽取 8 件与机加工件进行电压驻波比检测,以评估新工艺制造的宽带馈源电气性能,其检测值见表 1。可以看出,两者驻波比相当,一体化制造的宽带馈源电性能一致性总体上比传统方法生产的机加件电性能好。在功率耐受试验过程中,随机选用了 5 个频点进行试验,每个频率点加辐射 30 min,每隔 10 min 观察一次宽带馈源天线温度变化并同时在整个过程中观察辐射功率的变化^[5]。结果表明,天线没有明显的温度升高,也无高频打火的情况发生,整体精密铸造的宽带馈源天线对有效辐射功率测试结果无太大影响,有些频率甚至比机加件有更好的特性。

表 1 精铸件和机加件驻波比对比

Tab.1 Comparison of electrical performance of investment castings and machined products								
	1	2	3	4	5	6	7	8
精铸件	1.57	1.50	1.51	1.53	1.50	1.48	1.55	1.52
机加工件	1.64	1.58	1.76	1.82	1.52	1.50	1.66	1.48

4.3 环境试验

表 2 为环境试验项目和试验条件^[6]。宽带馈源精密铸件经振动和冲击环境试验后,试验结果经目视和 X 射线探伤检测没有发现任何裂纹、凹坑等缺陷。与试验前相比,驻波电性能指标值几乎没有变化。

宽带馈源产品表面进行化学导电氧化(H.DY),以提高表面三防性能,再喷涂浅灰氟聚氨酯涂料(见图 5),经温度和盐雾试验,表面没有电化学腐蚀现象,基体

也没有发暗、变黑、腐蚀等问题出现。漆层无失光、变色,表面没有直径大于 0.5 mm 的气泡。

表 2 环境试验项目

Tab.2 Environmental testing projects	
试验项目	试验条件
振动试验	10~55 Hz,双振幅:0.95 mm;50~300 Hz,加速度为 $\pm 9\ \text{g}$;持续时间:正弦扫频周期 15 min,进行 10 次扫频,共 90 min。振动方向:与振动台垂直方向、水平方向
冲击试验	冲击波形:半正弦波;冲击加速度:15 g;冲击脉冲宽度:11 ms;冲击方向:与振动台垂直方向、水平方向。冲击次数:18 次
温度试验	高温贮存:70 $^{\circ}\text{C}$,48 h。低温贮存:−55 $^{\circ}\text{C}$,24 h
盐雾试验	试验有效空间内的温度为 35 $^{\circ}\text{C}$ 。试验样品承受连续喷雾的试验时间为 96 h



图 5 涂装实物产品

Fig.5 Objects of painted product

5 结 论

通过对宽带馈源功能结构件产品进行一体化整体结构设计,结合石膏型熔模精密铸造工艺技术,实现了对宽带馈源产品的整体制造,生产的精密铸件宽带馈源产品质量稳定,一致性好,其尺寸精度和表面光洁度满足电气性能设计要求,而且力学性能、三防性能也符合环境试验条件,目前该工艺方法已推广应用到宽带或超宽带馈源天线产品制造中。

参 考 文 献

[1] 朱四桃,易超龙,朱郁丰等.TEM 喇叭天线末端加载设计及实验[J]. 现代应用物理, 2013(12): 344.
[2] 刘密歌,张麟兮.基于 HFSS 的双脊喇叭天线的设计与仿真[J]. 电子测量技术, 2007(7): 142-144.
[3] 张永红,蒋玉明,杨屹.石膏型熔模特种铸造工艺[J]. 铸造技术, 2002(6): 348-350.
[4] 中国国家标准化管理委员会.铸造表面粗糙度:评定方法[S]. GB/T-15056-2017.
[5] 蔡兴雨,雷振.有源相控阵雷达系统技术参数测试[J]. 火控雷达技术, 2009(2): 1-3.
[6] 中国国家标准化管理委员会.电工电子产品环境试验等 2 部分:试验方法[S]. GB/T 2423.2-2008.

(编辑:刘卫)