

一种硅橡胶注塑铝合金腔体实例

李红英

(广州海格通信集团股份有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 本文简要论述了在铝合金腔体四角与硅橡胶注塑结合的产品, 通过对铝合金骨架进行表面处理, 喷涂偶联剂, 腔体设计凹口, 采用金属嵌件的原理打入不锈钢圆棒从而形成机械锁的方法, 极大地提高了界面黏合和包胶的强度, 改善了产品的质量。为类似的金属与橡胶的黏合提供参考。

关键词: 铝合金; 硅橡胶; 铝合金包胶; 注塑; 黏附破坏; 机械锁

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)03-0046-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.03.011

0 引言

军用电子设备需要面对各种各样、复杂多变、极端严酷的应用环境。材料的选择不但决定了产品功能, 还影响其制造成本和使用。

铝合金具有密度小, 导电导热性好, 比强度、比模量高, 力学性能优良, 耐蚀性好, 易于成型、价格低廉, 资源丰富, 易回收, 无污染等优点。铝合金是军用电子设备应用最广泛的金属结构材料。

硅橡胶具有很高的热稳定性和优异的低温性能, 能在 $-60\sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内保持柔软性、回弹性、表面硬度和机械性能。此外它们还具有优良的电绝缘性、耐候性、耐电晕、电弧性、防霉性和透气性, 无毒无味。硅橡胶表面性能低, 具有低吸湿性, 可起隔离作用。特种硅橡胶还具有耐辐射、耐燃、耐油、耐燃烧等性能^[1-2]。硅橡胶广泛应用于现代工业、国防工业和日常生活中。

本文设备支持平原、丘陵、高原、沙漠、海滩地貌条件下的高温、低温、低气压、湿热、淋雨、盐雾、霉菌、跌落等严酷复杂环境下地便携使用, 同时也可加装与车载平台动中通通信和天线室外主机室内的指挥所拉远通信。多场景的使用模式, 结构设计重点考虑温度、振动、冲击、跌落, 结合材料特性, 设备主要结构材料为铝合金, 包胶材料选择硅橡胶。

1 铝合金包胶工艺简介

铝合金包胶工艺是一种将橡胶、塑料等弹性体或

热塑性材料用特定工艺牢固地黏附在铝合金表面的技术。这种工艺既显著地增强了铝合金制品的耐磨性、抗振性、抗冲击性、防滑性、绝缘性和手感舒适度, 又提升了产品的整体美观度和使用寿命。

铝合金包胶方法主要有胶黏剂法、注塑加工、模压加工。胶黏剂包胶采用特定的胶黏剂进行硫化橡胶或塑料与铝合金的黏接, 不适用骨架复杂的表面, 生产效率低, 易受温度和湿度影响。注塑包胶通常分两次成型: 首先将金属骨架从压铸模具中拿出或其他方式加工成型, 然后放入包胶模具内, 注入覆盖材料。注塑包胶具有生产效率高、废品率低、产品质量稳定、外观美观等优点, 得到广泛运用。

金属和橡胶的注塑加工可以用硅胶复模和金属模具。硅胶复模, 又称真空复模、翻模或者简易模具, 工艺流程: 准备原型, 制作硅胶模具, 在真空状态下注入材料, 固化与脱模。硅胶复模使用寿命为 $15\sim 25$ 次, 加工成本低, 生产周期短, 仿真度高适合手板和小批量生产。金属模具是由模具钢材制造, 使用可达几十万模次, 模具精度高、可成型形状复杂、带嵌件制品, 动作可靠、自动化程度高、成型周期短等优点适用大规模生产, 但金属模具制作周期长、费用高、技术相对复杂, 不容易掌握, 同时受生产设备的限制, 模具尺寸不能太大。图1为铝合金腔体的硅胶复模包

作者简介: 李红英(1985-), 女, 电子产品结构工程师, 主要从事军用电子设备的结构设计工作。

胶，图2为铝合金腔体的金属模具包胶。



图1 硅胶复模



图2 金属模具

铝合金注塑包胶工艺流程如下：铝合金骨架预处理，准备模具，调整包胶工艺参数，刷底涂剂，烘烤被包胶物体，试样测试，注塑成型，处理批锋。硅橡胶包胶与铝合金腔体的黏合问题是生产过程中的重要环节，界面黏合的强度决定制品的使用寿命，制品的损坏过程正是从这个黏合界面开始的。

2 产品分析

整套设备由主机、携行天线组成；携行天线由天线支架和天线面组件组成，两者通过阻尼铰链连接，可实现天线面组件任意角度悬停；展开见图3，收藏见图4。主机、天线面组件及天线支架四角均带有硅橡胶包胶。主机四角包胶有两点作用：①作为自身的隔振缓冲件；终端放置天线支架上，厚包胶起到限位、

弹性变形实现主机和携行天线之间摩擦压紧作用。主机包胶的好坏直接影响到整套设备的使用感受和整机可靠性。主机包胶不但厚而且高，是该本设备包胶的难点，本文论述主机上的包胶。主机正视图见图5，立体图见图6。



图3 终端使用图



图4 终端收藏图



图5 主机正视图



图6 主机立体图

主机腔体为铝合金压铸件，包胶为邵氏 A60 度的硅橡胶，主机盖板没有包胶，腔体包胶面高于盖板。四角包胶厚度大于 7 mm，高度 46 mm，最高突出腔体面达 12 mm，抓握柔软感觉不到金属基材。包胶采用注塑工艺，先将压铸好的腔体固定在包胶模具上，再在合适的温度下将软胶注塑到腔体上，并经冷却得到制品。样机试制过程中，包胶与铝合金腔体黏结力小于包胶的内聚力界面容易发生黏附破坏，包胶结构完整、无撕裂，结合界面极少有橡胶残留物，拉胶沟槽结构完整、清晰，表明两种材料没有发生融合、渗透。图 7 为腔体包胶及拉胶槽尺寸，图 8 为腔体拉胶 3D 图。

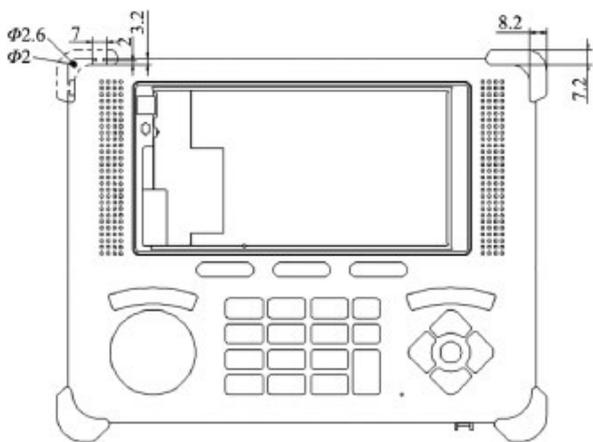


图 7 包胶及拉胶槽尺寸

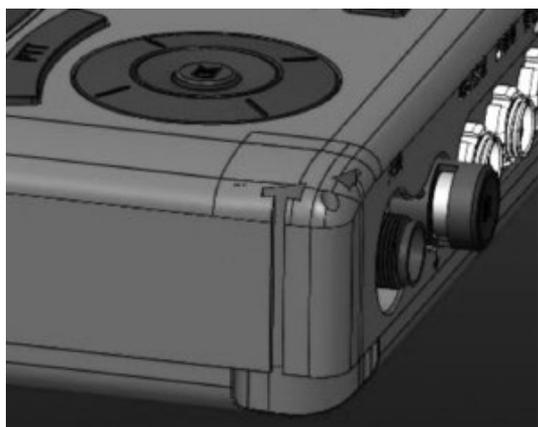


图 8 拉胶 3D 图

主机包胶发生黏附破坏原因：

(1) 软胶的结构刚强度主要取决于产品形状和材料的弹性模量及拉伸强度。该包胶过于厚高，刚强度不足，容易变形，使得黏附界面承受拉力和剪切力，从而失效。圆柱拉胶（“胶钉”直径为 2.6 mm，间距 28 mm），燕尾沟槽拉胶（长 7.2 mm，宽 2 mm，间距 28

mm），间距过长拉胶的刚强度不足，容易被撕裂和拉出。

(2) 硅橡胶与铝合金化学结构和力学性能存在巨大差异，两种材料未形成牢固的化学键，化学键结合黏合效果远高于分子间力和氢键等。

3 改进措施

考虑燕尾槽会使模具单薄，容易损坏，改为图 9 结构，腔体突出支耳形成凹口，不但改善了模具，同时硅橡胶能更好固定到位，更好地收缩贴附到腔体上。采用金属嵌件原理解决包胶自身刚强度不足问题，由于包胶自身较高，腔体每个角过盈装入 3 根直径为 2 mm 高度为 38 mm 的不锈钢钢棒，不但提高了包胶的刚强度，控制变形，保证包胶的稳定性；更形成了牢固的机械锁，不锈钢棒比拉胶的刚强度有了数量级的提升。对包胶区域不喷涂，加强黏接效果。重视金属基材的预处理（物理喷砂、阳极氧化），利于在接合面形成机械锚固。选择合适的底涂剂：在铝合金表面改性后，喷涂偶联剂，高温固化形成硅烷层，硅烷层起着“桥梁”作用，使得铝合金和硅橡胶发生化学反应，形成化学键。通过以上措施处理后，两者结合牢固可靠，能通过符合战术技术指标要求的环境试验，实现批量生产。

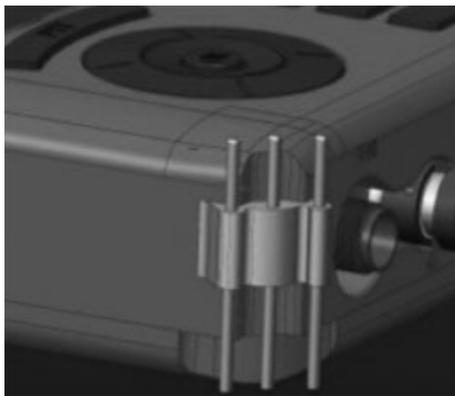


图 9 包胶金属嵌件

4 总结

对于橡胶覆盖金属件的相应位置的制品，要获得高强度的接头必须从结构设计、表面处理、生产工艺方面详细考虑。

结构尖锐角部会产生应力集中，合适的倒圆角和倒角有助于降低应力集中，提供流畅的流道，易于脱模。如果基材与包胶不能熔融结合（基材与包胶之间形成化学键结合），需要设计牢固的机械锁定方法如：



图 10 硅橡胶注塑铝合金骨架

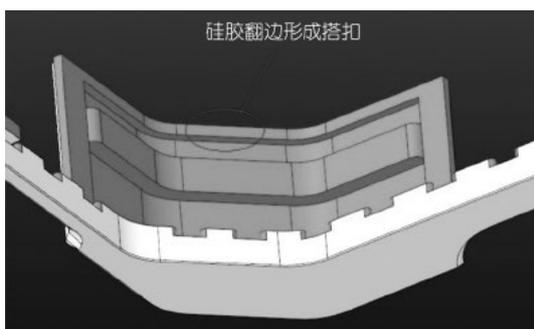


图 11 硅橡胶包胶结构

用流通孔、凹口或沟槽连接；如图 10 和 11 所示，且包胶设计翻边，形成搭扣作用，有效地阻挡外力破坏。包胶硬度低且过厚，注意增强包胶的刚强度，防止过大的变形引起黏附破坏。

金属表面处理方法有物理喷砂、化学刻蚀、阳极氧化、等离子体处理、偶联剂处理、激光烧蚀和混合喷砂处理等。通过上述处理对金属进行表面改性，使金属与聚合物在结合界面形成机械锚固、化学键等作用可以有效提高两者的结合强度^[3]。

包胶材料控制充油量，可以使灰尘吸附情况得以改善；材料不导电，容易积聚电荷，通常在材料中添加抗静电剂来避免电荷积聚；或者包胶后在进行喷涂处理。

参考文献：

- [1] 吕百龄. 实用橡胶手册(第2版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010:55-56.
- [2] 朱晓敏, 章基凯. 有机硅材料基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004:63-72.
- [3] 李熹平. AI-TPU 一体化注塑成型技术及界面结合性能研究[D]. 杭州: 浙江师范大学, 2022:3-7.

A example of a silicone rubber injection-molded aluminum alloy cavity

Li Hongying

(Guangzhou Haige Communication Group Co. LTD., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: This article discusses in detail the process of combining the four corners of aluminum alloy cavities with silicone rubber injection molding. By surface treating the aluminum alloy skeleton and spraying coupling agent, and designing a notch in the cavity, a stainless steel round rod is driven in using the principle of metal embedding to form a mechanical locking structure. This method significantly improves the interface bonding strength and encapsulation effect, effectively improves product quality, and provides valuable reference for the bonding of metal and rubber.

Key words: aluminum alloy; silicone rubber; aluminum alloy coating; injection molding; adhesive failure; mechanical lock

(R-03)

