

铝钎焊接技术在铝壳体中的应用分析

岳邦帅

南京科瑞达电子装备有限责任公司，江苏南京，210000；

摘要：铝合金因其密度低、导热性能优异以及耐蚀性良好，已在航空航天、汽车制造与电子器件等行业广泛使用。铝钎焊技术作为一种连接质量稳定、效率相对较高的方法，能够使铝合金壳体在特定使用场合下展现出更佳的力学及功能特性。通过深度探讨铝合金材料特性、钎焊工艺细节及性能验证手段，可进一步发掘铝钎焊在壳体制造中的潜力。本文结合实际生产经验与实验数据，对铝钎焊原理、母材与焊材匹配、接头形式选择以及具体工艺流程展开详细剖析，并对钎焊后所需进行的性能试验方法进行论述。

关键词：铝合金；钎焊；壳体制造；焊接工艺

DOI：10.69979/3041-0673.25.01.079

1 概述

在现代工业领域，铝及其合金凭借质量轻、比强度较高、耐腐蚀与导热性能出色等优势，广泛应用于通信外壳、电子散热元件、航空组件以及车辆轻量化部件等不同场景。其中，铝壳体作为承载与保护功能的重要构件，对其连接质量以及整体结构完整性提出了较高要求。在众多连接方式中，铝钎焊以连接处变形小、焊接速度快以及适合大批量生产等特点赢得了许多领域的青睐。

一般而言，铝基材在室温下会迅速生成且稳固的氧化膜，直接施以普通焊接工艺时易出现焊接缺陷。铝钎焊通过在略低于母材熔点而高于钎料熔点的温度范围进行焊接，可使液态钎料浸润或润湿铝表面，最终形成可靠的结合层。与其他高能量输入的焊接方式相比，钎焊热影响范围较小，对于薄壁铝合金壳体非常合适，也避免了部分低熔点铝合金因温度过高而产生严重变形或气孔。

借助该技术所带来的优异特性，越来越多的制造商开始将铝钎焊应用于厚度、形状各异的壳体拼装与密封中，不仅能获得良好的密闭性能，还能够最大限度地保持其表面美观和结构稳定。由此可见，铝钎焊技术在铝壳体生产制造中正发挥着不可或缺的作用，应用前景值得继续深入探讨。

2 铝钎焊原理

铝合金在常温环境中容易形成一层致密而稳定的氧化膜，该氧化膜虽然能有效隔绝外界腐蚀介质，但同时也会影响钎料对母材的润湿和扩散，从而增加钎焊过程的难度。为了克服这一问题，需使用合适的钎剂或熔

剂以去除或分解氧化膜，使母材表面在适宜的温度范围内与液态钎料充分接触。钎料在毛细作用的推动下流入接头间隙，并在冷却后固化形成牢固的焊接接头。

在实际操作中，通常采用氮气保护的钎焊电炉，以降低氧化反应，提高焊接质量。装配完成并施加钎剂与钎料（铝箔）的工件被放入氮气环境中，随炉温升高至钎焊温度后，钎料开始熔化并渗透到接头区域。在整个加热过程中，氮气保护可显著减少母材及钎料的氧化，使钎焊过程更为稳定。炉内温度均匀性较高，温差可控制在 5℃ 以内，从而保证焊接接头质量的均一性。最终，工件冷却后形成稳定的钎焊连接，提高其结构强度和密封性能。合理优化钎焊工艺参数，使温度分布均匀、钎料充分填充接头区域，对于提升焊接质量具有重要作用。

3 母材的选择

铝合金钎焊的操作难度较大，主要源于其母材熔点与硬钎料的熔点接近，使得可控的焊接温度窗口较为狭窄，稍有偏差便可能导致母材过热甚至局部熔化。此外，部分依赖热处理强化的铝合金，在钎焊过程中受热易引发时效或退火，从而导致材料的强度下降、硬度降低，使接头性能受到影响。因此，在进行铝壳体钎焊时，精确控制加热速率与保温时间至关重要，以降低高温作用对母材组织稳定性的影响。

从材料选择的角度来看，常用于钎焊的铝合金主要包括 3A21、6A02 和 6063，它们在耐蚀性、成型性能及钎焊适应性方面存在一定差异。3A21 具备良好的防护特性，成型工艺优势明显，抗拉强度为 120~160 MPa，同时在焊接过程中展现出较高的稳定性，适用于对耐腐蚀

性要求较高的结构件。6A02 的抗拉强度可达 295 MPa 以上,在承载能力方面表现优异,但其焊接适应性较 3A21 略逊。6063 铝合金则在成型工艺与强度方面达到较好的平衡,抗拉强度 ≥ 241 MPa,在一些轻量化结构制造中被广泛采用。

考虑到铝壳体需在较为复杂的环境中长期使用,材料的耐蚀性能是优先考虑的因素之一。综合评估焊接适应性、结构强度及成型要求,3A21 铝合金因其优异的耐腐蚀能力及良好的钎焊适应性,成为主体材料的最佳选择。这一决策不仅有助于提升钎焊接头的质量稳定性,同时也能延长铝壳体的使用寿命,确保其在应用过程中具备可靠的机械性能。

4 焊材及接头形式

铝壳体因结构复杂,使得装配间隙难以严格控制,因此钎料需具备较强的间隙适应性。为提升钎焊接头的质量稳定性,选用 BA192Si 亚共晶钎料,其固、液相线温度区间适中,能够在 610℃ 的钎焊温度下实现良好的润湿性,使钎缝填充均匀且结合紧密。该钎料具备优异的流动性能,在较大间隙变化范围内仍能保持可靠连接,减少了焊接缺陷的发生概率。配套钎剂采用氟化物共晶型助焊剂,不仅具有无腐蚀性特点,还能有效去除氧化膜,提高钎料与母材之间的浸润作用,从而改善接头的冶金结合质量,使铝壳体在复杂工况下仍能保持稳定的力学与防护性能。

5 工艺过程

5.1 零件进行装配前清洗

铝合金表面容易附着油污、水迹或氧化物残留,不彻底去除会影响钎料的润湿扩散,导致出现焊接缺陷。为改善表面状态,通常使用碱性或酸性清洗液对零件进行表面处理,并辅之以去离子水漂洗及热风干燥。清洗完成后,零件表面的污物含量大幅减少,便于焊接时液态钎料迅速渗透到连接区域。若操作过程中对大批量零件进行清洗,需要严格管控清洗液温度、浓度以及清洗时间,以免基材受到腐蚀或表面残留清洗剂成分。

5.2 装配

在钎焊操作中,保持组件和钎料的洁净至关重要,应在无尘的工作环境中进行所有组装工作,从而降低任何杂质污染的可能性。为避免手部油脂污染影响母材表面,操作人员需要穿戴干净的白色手套。此外,使用前

所有工具和夹具必须进行彻底的清洁,并应严格遵循工艺规定选用适当的夹具,这有助于确保组件装配的精确度和符合设计的尺寸规范。装配的间隙直接关联到钎焊接头的密实度与强度,需维持在不超过 0.1mm 的严格标准之下,以避免钎料的不充分填充或焊缝缺陷的发生。

5.3 点焊

在某些铝壳体应用场合,需要先对装配好的零件进行点焊固定,以保证在正式钎焊之前各部位相对位置不发生偏移。点焊常选用电阻点焊或短脉冲氩弧点焊等方式,仅在局部位置形成若干焊点,以限制整体变形。点焊过程中要控制焊点大小和熔深,以免母材严重熔蚀。由于点焊温度高于钎焊温度,操作时可选择低热输入方案,并充分考虑电极压力与时间参数,从而使得这一步骤既保持了装配精度,也不会给后续的钎焊带来较大负面影响。

5.4 钎焊

在钎焊过程中,为确保焊接质量的一致性,工件必须在氮气的保护下均匀受热。当炉内温度达到 610℃,工件通过传送带送入钎焊炉中,并在不锈钢管的支撑下保持其平面度。进入喷淋室后,铝制外壳在控制的气氛中缓慢加热至钎焊所需温度,此时钎料开始熔化,有效地填补所有焊缝,实现各部分的密切结合,并形成坚固的接头。为防止焊接过程中产生应力或结构不均,焊接完成后需对工件进行缓慢冷却,使其渐渐冷却并稳定后方可出炉。

5.5 焊后处理

完成钎焊后,对铝壳体的焊缝和表面进行必要的清理、钝化或热处理,有助于后续使用的稳定性。部分应用要求对焊接部位进行热时效处理,以强化合金组织或释放焊接残余应力;对于表面残留的助焊剂和杂质,则可以采用化学清洗或喷丸处理加以去除。此外,还要根据设计需要对壳体外观进行打磨或表面处理(如阳极氧化、电泳涂层等),令其具备更佳的耐蚀性及装饰效果。焊后处理步骤常与质量检测同步进行,并可将壳体转移至后续装配产线以完成最终集成。

6 钎焊性能试验

6.1 交变湿热试验

交变湿热环境会在铝合金表面和焊缝处引发腐蚀

及疲劳开裂问题,因此测试焊接接头在此环境中的失效模式和耐久度尤为关键。该试验通常将钎焊完成的壳体置于相对湿度 90%~98%、温度在高低区间之间交替转换的环境试验箱中,并持续一定时长以模拟自然环境中昼夜温差和潮湿工况的影响。通过周期性观测焊缝的外观、腐蚀斑点、裂纹等情况,可以评估钎焊接头的抗腐蚀稳定性以及细微缺陷随时间积累的变化。若样品在该试验中无明显腐蚀扩展、裂纹增大或强度衰减,则说明其接头在高湿度与温度波动环境下的综合性能较为理想。

6.2 致密性检查

对于需要气密性或液密性的铝壳体,致密性检测可判断钎焊接头与壳体结构内部是否存在气孔、夹渣或其他贯通性缺陷。较常采用的方法包括氦检漏、压力衰减测试或气泡检测等。氦检漏灵敏度较高,只要在壳体内充入一定浓度的氦气,再利用检漏仪检测外界是否有氦气泄漏即可;压力衰减测试则监测壳体封闭环境中的压力变化量,若衰减速度超过标准阈值,则表明接头存在微漏;至于简单的气泡检测,可将壳体浸于水下并加压,观察是否产生连续气泡。通过对试验结果进行记录与分

析,可以及时定位和修补潜在缺陷,减少产品在服役过程中的失效风险。

7 结束语

综观全文,铝钎焊工艺在铝壳体制造中具有独特优点,既能降低热输入,减少焊接变形,又能提升接头强度与耐腐蚀表现。其在航空航天、汽车电子等领域的应用正愈发广泛。从母材与焊材的选型,到清洗装配、点焊固定,再到最终的钎焊与后处理,每一个步骤都对铝合金壳体的连接质量起到举足轻重的影响。与此同时,完善的钎焊性能试验手段帮助进一步验证成品壳体的可靠性和使用寿命。若能将先进的工艺技术与全面的检测方案结合,铝钎焊接技术在工业制造中的前景将更加值得期待。

参考文献

- [1] 焊接手册 第 2 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 史建卫, 温粤晖. 现代电子装联软钎焊接技术[M]. 电子工业出版社: 201601. 265.