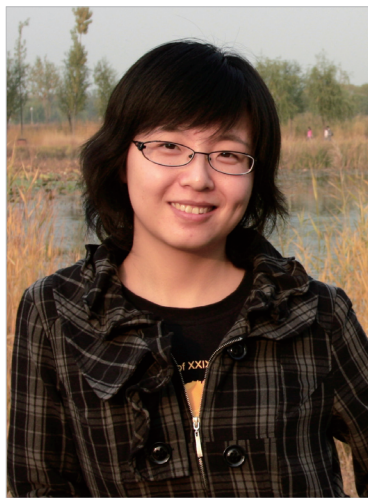


先进航空材料和复杂构件的钎焊技术

Brazing Technology of Advanced Aviation Material and Complex Structure

中航工业北京航空制造工程研究所 静永娟 侯金保 岳喜山 张胜 赵磊



静永娟

博士,高级工程师。主要从事材料科学和钎焊、扩散焊技术相关课题的研究工作及钛合金蜂窝结构产品的型号研发工作。负责或参与了近十项基金和预研等课题,发表论文 20 余篇,申请专利 2 项。

钎焊是采用比母材熔点低的金属材料作钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、但低于母材熔点的温度,利用液态钎料润湿母材,填充接头间隙,并与母材相互扩散而实现连接焊件的方法。随着航空科学技术的发展,在航空装备中越来越

钎焊技术作为特种连接技术的一种,在制造复杂精密结构和新型耐高温材料的连接方面上具有独特优势,开展陶瓷材料、金属间化合物材料以及新型高温合金等材料及构件的钎焊技术研究将是航空领域钎焊技术的主要发展方向。

越多地采用新材料、新结构,对其焊接技术也提出了更高的要求。钎焊作为重要的焊接技术,对于新材料的连接和复杂精细结构件的制造,具有独特的优越性和灵活性,甚至对于某些新材料与复杂构件,钎焊是其唯一可行的连接技术。

钎焊在新型飞行器上的应用研究

1 蜂窝夹层结构钎焊技术

金属蜂窝夹层结构由上、下面板及中间蜂窝芯体组成,可通过钎焊技术连接而成。金属蜂窝夹层结构具有重量轻、比强度、比刚度高、耐高温、耐腐蚀、消音、隔热等优异性能,在航空航天领域广泛应用,如飞机机身、机翼、发动机舱门、发动机短舱等。采用金属蜂窝夹层结构可以有效地减轻飞机结构重量,提高结构效

率,提高飞机机动性、灵活性。与传统的加筋壁板结构相比,在承受相同载荷的情况下,蜂窝夹层结构可减重 15-20% 以上,是一种新型的轻质高强结构。

国内对金属蜂窝夹层的报道相对较少,且很多都偏重于蜂窝夹层结构的理论计算和预测方面,近年来,北京航空制造工程研究所对不锈钢、钛合金及高温合金的蜂窝夹层结构制造技术开展了系统的研究,并对其性能做了系统的测试及分析,积累了大量的数据。

目前,本单位已在如下方面取得了突破性进展:(1)蜂窝芯体加工制造技术;(2)钛合金蜂窝夹层结构钎焊技术;(3)钛合金蜂窝夹层结构钎焊质量无损检测技术;(4)大面积变截面、变曲率钛合金蜂窝夹层结构制造技术。目前,不锈钢、钛合金及高

温合金蜂窝钎焊零件已在多种型号飞机上得到了成功应用。

2 涡轮叶片钎焊修复技术

为满足高温高压等恶劣使用工况要求,涡轮导向叶片类发动机热端部件通常选用复杂的结构设计和苛刻的制造工艺,致使部件制造成本高,周期长。为降低使用成本,这些高价值的部件受损后通常采用钎焊等方法进行修复。

北京航空制造工程研究所通过选择设计合理的钎焊材料并开展系统的钎焊修复技术研究,突破了发动机热端部件裂纹清理、高强度活性钎料研制、可修复性评估等关键技术。其中,采用大间隙钎焊技术完成了某型号发动机镍基高温合金 K418B 整铸涡轮导向器铸造缺陷的钎焊修复,如图 1 为修复后的涡轮导向器。



图1 修复后的高温合金涡轮导向器

采用大间隙钎焊技术修复的某型号发动机 K465 合金低压涡轮导向器通过了模拟一个寿命期的热冲击试验考核。针对 DZ125 合金,北京航空制造工程研究所设计了新型 3P1 钎料,其在钎焊温度为 1180℃ 条件下的钎焊接头 1000℃ 抗拉强度达到了 463MPa;采用 1230℃ 高温钎焊并结合热处理工艺,其钎焊接头 1000℃ 抗拉强度达到了 528MPa,这为该技术今后在型号零件上的应用奠定了较为坚实的技术基础。

3 多孔层板结构钎焊技术

氧化物弥散强化高温合金是采用机械合金化方法制造的新型高温材料,具有优异的高温抗氧化、抗腐

蚀性能,主要用于发动机燃烧室、加力燃烧室、尾喷管、蜂窝壁板等构件制造。在构件研制过程中要求开发针对上述材料和结构的耐高温、高强度钎焊技术。

针对这些构件研制对钎焊提出的需求,北京航空制造工程研究所针对氧化物弥散强化合金,设计开发了多种钴基钎料,并进行了系统的钎焊试验。研究表明:采用研制的钎料和优化后的钎焊工艺,获得的 MGH956 合金同质钎焊接头组织与基体相同, MGH956 合金同质钎焊接头、MGH956 合金与 MGH754 合金异质钎焊接头 1000℃ 抗拉强度均达到了基体强度的 75% 以上,钎焊多孔层板浮动壁火焰筒进行了试验台的性能试验考核,冷却系数达到了 0.85。

新材料的钎焊技术进展

1 Ti-Al 金属间化合物材料的钎焊技术

Ti-Al 金属间化合物具有密度小、弹性模量高、抗氧化性好和高温强度、高温韧性及抗蠕变性能好等特点,可望取代部分传统高温合金,在航空航天、汽车及军工领域得到广泛应用。Ti-Al 金属间化合物材料的使用温度范围为 600℃ ~900℃,密度为 3.7~5.4g/cm³,包括 γ -TiAl 合金、Ti₃Al 合金及 Ti₂AlNb 合金。随着 Ti-Al 金属间化合物在航空领域的逐渐推广应用,其高强度钎焊技术也得到了较大发展。

针对 Ti-Al 金属间化合物的钎焊技术,北京航空制造工程研究所开展了系列基础研究工作,包括 Ti-Al 化合物专用钎料设计与制造、钎料合金元素对钎焊接头组织性能的影响分析、Ti-Al 化合物同质和异质材料钎焊工艺研究等。已优化出性能较好两种钎料并申报了发明专利,如图 2 为新型钛合金焊料样品,目前已采用钎焊技术研制了 Ti₂AlNb 合金压气机静子叶片组件模拟件及蜂窝

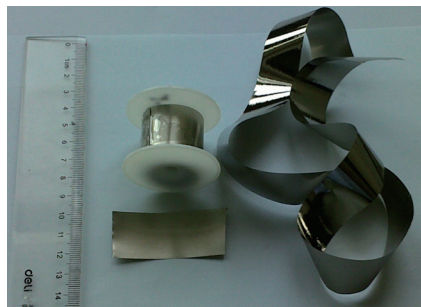


图2 新研制的钛基非晶箔带钎料

夹层结构试验件,具备 Ti-Al 化合物钎焊构件制造的技术基础。

2 陶瓷及陶瓷基复合材料的钎焊技术

基于氧化物陶瓷(Al₂O₃、SiO₂等)、碳化物陶瓷(SiC、TiC、WC等)、氮化物陶瓷(Si₃N₄等)、晶体功能材料(蓝宝石、石英等)、碳纤维复合材料及陶瓷基复合材料的潜在应用需求,北京航空制造工程研究所广泛开展了钎料研制、钎焊工艺优化及典型件钎焊研制等研究工作,其使用温度涵盖室温至 1100℃ 的温度范围,在激光武器、航空航天飞行器部件研制等方面得到应用。

目前,钎焊的 SiCf/SiC 复合材料与高温合金 GH4169 异质接头在 600℃ 和 1100℃ 的抗剪强度分别达到了 130MPa 和 50MPa,且钎焊试件均断裂在距离焊缝 1.5~2.5mm 的 SiCf/SiC 复合材料基体上。

结束语

钎焊技术作为特种连接技术的一种,在制造复杂精密结构和新型耐高温材料的连接方面上具有独特优势,开展陶瓷材料、金属间化合物材料以及新型高温合金等材料及构件的钎焊技术研究将是航空领域钎焊技术的主要发展方向。多年来,中航工业北京航空制造工程研究所一直开展新型航空材料及复杂航空构件钎焊技术与相关技术的试验研究工作,为新型航空材料的应用和复杂航空构件的设计制造提供了技术支撑。

(责编 深蓝)