

The Application of Bonding Technology in small and Medium-sized Aero-Engine Manufacturing

Caijun Zhu Yong Sun

Aecc South Industry Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412002, China

Abstract

This paper introduces the composition of adhesive and the selection of adhesive based on the principles of adhesive material, working temperature, stress condition and disassembly frequency in the manufacturing and production of small and medium-sized aero-engines, and comprehensively considers the properties, technological conditions, operating environment and the properties, shapes, load forms and costs of the adhered materials, and describes in detail the bonding processes such as surface treatment, adhesive preparation, gluing, curing, inspection and renovation. The typical application examples of bonding technology in the manufacture of small and medium-sized aero-engines, such as anti-loosening and fastening, thread sealing and anti-corrosion, are listed, and the quality control factors such as operators, equipment and instruments, adhesives, technological processes and the characteristics of bonding technology are also explained.

Keywords

adhesives; bonding technology; small and medium-sized aero-engine; application

粘接技术在中小航空发动机制造中的应用

祝才军 孙勇

中国航发南方工业有限公司, 中国 · 湖南 株洲 412002

摘 要

介绍了粘接剂的组成和在中小航空发动机制造生产中, 依据粘接材料性质、工作温度、受力条件、拆卸频率等原则, 并综合考虑粘接剂的性质、工艺条件、操作环境以及被粘材料的性质、形状、负荷形式以及成本等选用粘接剂。详细叙述了表面处理、配胶、涂胶、固化、检验与整修等粘接工艺, 列举了中小航空发动机制造中防松与紧固、螺纹密封、防腐等典型粘接技术的应用实例, 还说明了操作人员、设备与仪器、粘接剂、工艺过程等质量控制要素以及粘接技术特点。

关键词

粘接剂; 粘接技术; 中小航空发动机; 应用

1 引言

粘接技术是指借助粘接剂在固体表面上所产生的粘合力, 将同一种或两种不同种材料牢固地连接在一起的方法^[1]。粘接主要有两种形式: 非结构型粘接和结构型粘接, 非结构胶包括表面粘接用胶粘剂、密封胶等, 主要是表面粘着、密封和功能性粘接; 结构型粘接是指将结构单元用粘接剂牢固地固定在一起, 所用的结构胶及其粘接点必须能将结构应力传递出来的现象^[2]。

粘接技术在中小航空发动机腐蚀防护, 磨损、研伤、缺损裂纹的修复及螺纹锁固、平面密封、管螺纹密封、圆柱件固定等方面^[3]均有很好应用, 在中小航空发动机研制生

产中起到了不可忽视的作用。

2 粘接剂的组成与选择

2.1 粘接剂的组成

粘接剂通常是在固化剂、增塑剂或增韧剂、稀释或抗老化剂等添加剂的组合中加入具有粘性或弹性的天然产物和合成高分子化合物的混合物^[4]。溶剂应用于胶接剂组分时要考虑挥发速度, 如果挥发速度较慢, 溶剂残存于固化的胶缝中, 会对胶接剂的胶接强度造成影响; 若溶剂快速挥发, 胶接剂表面的热量会在作业环境湿度较大时被大量带走, 造成表面温度低于周围环境温度, 粘接剂表面会凝结空气中的水分, 造成胶接后胶接强度降低^[5]。

2.2 粘接剂的选用原则

胶接剂的组成很大程度上影响了其性能, 所以选择合适的胶接剂需要根据粘接对象的不同, 以及使用的不同而加以选择。

选择粘接剂要以粘接材料为依据。不同材质在一定程

【作者简介】祝才军(1988-), 男, 中国江西上饶人, 硕士, 工程师, 从事非金属材料 and 树脂基复合材料应用技术研究。

度上影响了胶接强度。对于金属构件,要选择强度高的胶接剂,因为它们本身的结构强度大;选择韧性好的胶接剂可以缓解胶接面的应力集中,因为金属与胶接剂的膨胀系数不同。

依据工作温度选择粘接剂。粘接剂的耐热性是有限的,选用粘接剂的最高耐热温度不能低于零件的工作温度。需要说明的是,冷热交变是粘接剂使用最苛刻的条件,尤其是粘接不同材料时对粘接强度的影响,韧性好的胶接剂是解决这一问题的应有之义^[4]。

粘接剂的选择要根据受力情况而定。受力构件一般选用强度和韧性都比较高的粘接剂;工艺定位用的零件没有太大的作用力,则可选用通用型的粘接剂。

依据拆卸频率选择粘接剂。在武器装备性能受限的同时,现代高新技术局部战争的成败,也受限于战时装备损伤的修复技术水平。中小航空发动机为了便于拆卸和维修,清理再涂胶,需要经常修理的平面粘接密封部位,应首选不干性粘着型粘接剂;不需要经常拆卸维修的平面粘合密封部位,可以选择固着型粘接剂。采用厌氧粘接剂紧固、密封、防漏的螺钉和螺帽,需要经常拆卸的部位,选用低强度厌氧粘接剂,否则可选用高强度厌氧粘接剂粘接。

2.3 粘接剂的选择

中小航空发动机研制用粘接剂分为有机和无机两大类,无机粘接剂主要是硅酸盐粘接剂,有机粘接剂包括合成有机高分子胶粘剂和天然有机高分子胶粘剂,合成环氧树脂、有机硅橡胶、聚氨酯、改性丙烯酸酯、酚醛树脂粘接剂等,在中小型航空发动机研制生产中应用广泛。

在中小航空发动机研制生产中选择粘接剂时,应综合考虑粘接剂的性质、工艺条件、操作环境,还要考虑被粘材料的性质、形状、负荷形式以及成本等^[5]。

超差修补,中小航空发动机前机匣铸件、修复孔与轴颈等均可采用环氧树脂粘接剂。

法兰平面密封。需经常拆卸维修的部位可选择不干性粘着型聚氨酯密封剂、不干性粘着型聚酯密封剂;耐压力和工作温度较高的部位选择有机硅橡胶液态密封垫、氟硅橡胶液态密封垫;工作温度更高者选用硅酸盐无机液态密封垫。

螺钉、螺帽的紧固、密封、防漏,可用有机厌氧粘接剂,工作温度较高的部位则选用无机粘接剂。

中小航空发动机金属材料间的结构粘接选用环氧树脂粘接剂;小面积快速粘接时可用氰基丙烯酸酯粘接剂。

3 粘接工艺

粘接工艺主要包括表面处理、配胶、涂胶、固化和质量检查等^[6]。

表面处理。表面处理的主要功能是使粘接剂充分浸润和粘附,从而获得良好的粘接效果,主要是脱脂除油、除锈、粗化和表面活化等。表面处理的好坏直接影响粘接强度。

配胶。单组分粘接剂可直接使用。对粘接件的粘接性能有直接影响的是双组分或多组分的粘接剂的配胶质量,必

须准确称量将各组分的重量,误差控制在 $<2\%\sim 5\%$ 之间^[2-3],搅拌均匀。按涂敷量配制粘接剂量,于活性期间内使用。配胶所用的工具和容器一定要干干净净,不能有丝毫松懈。

涂胶。粘接件表面和配胶完成后就可以涂胶了,为了防止空气被包裹住,在涂胶的时候要一个方向移动,为了便于空气排出,涂胶的速度不能太快。涂胶应均匀,涂胶量应以保证所需胶层厚度为宜。对于膏状无溶剂的粘接剂,被粘面粘合时,应错动几次,以利空气的排除与紧密接触以及准确对位;对于含挥发性溶剂的粘接剂,粘合前,要经过一定时间的晾置,待溶剂充分挥发后,对准位置,不可来回错动,并适当加压,以排出胶层中的空气^[6]。

固化。只有充分固化后,它的强度才会最大,固化是获得良好表现的关键过程。固化反应在常温下不会彻底,只能基本固化。只有升高温度,使固化反应持续,趋于彻底固化^[6]。采用加温固化时,不可涂胶后立即加温固化,往往应先进行室温固化,再逐步加温至一定温度进行固化,因此,在固化时必须掌握好温度、时间、压力三要素,应根据粘接剂的固化工艺进行^[6]。对于不干性粘着型密封剂则无需固化。

检验与整修。检测项目及选用相应检验方法应按粘接件的需要提出,如对密封件可用水压或油压进行检测,有外泄现象。对于恢复尺寸的粘接和粘涂,可用测量工具测量其尺寸精度、相互位置精度、几何形状精度等是否达到要求^[6]。经检验合格的粘接件,需要重新修整,以便于组装,提升美观。

4 典型应用实例

4.1 无机胶在万向管接头防松上的应用

XX8 发动机万向管接头与壳体组件的螺纹易松动,使 ΦA 和 ΦB 孔的朝向不一致,减少引气量,从而无法保证4单元体密封要求。组件工作实际温度可达约 360°C ,有机厌氧胶无法长期在 360°C 的环境下工作,故采用无机胶紧固,该胶是以无机高分子化合物、工业硅酸钠加入氧化锌、氧化铝等原料配制而成的单组份胶粘剂,能在 $-100^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 下长期使用,主要应用于螺钉螺母的紧固。

该胶固化条件如下:室温 $\times 24\text{h}\rightarrow$ 随炉加热, $70^{\circ}\text{C}\times 4\text{h}\rightarrow$ 随炉升温, $140^{\circ}\text{C}\times 2\text{h}\rightarrow$ 随炉升温, $270^{\circ}\text{C}\times 2\text{h}\rightarrow$ 降温,随炉冷却至室温。固化后可长期防止万向管接头松动,保证空军的飞行安全。

4.2 厌氧胶在螺纹副密封上的应用

XX6 系列发动机壳体组合件的管接嘴的螺纹尺寸为 $AG12\times 1.5$,采用过盈配合与壳体组合,但由于装配受力不均,加上在使用中的横向振动使螺纹啮合之间磨损,使得螺纹啮合部位产生间隙,并且间隙逐渐增大,从而发生渗漏现象。

结合螺纹管接嘴与壳体间密封的要求和厌氧胶的特性,经分析,管接嘴壳体之间的螺纹副密封采用Loctite272厌氧胶比较合适。Loctite272厌氧胶是单组份胶,使用方便,可常温固化,抗老化性能优良,固化后具有良好的耐水、润滑油、燃油等介质性能,最高使用温度可达 230°C ,广泛应用

于公司各机种螺纹部件的紧固与密封。

具体工艺如下：将管接嘴螺纹及其相应的壳体内螺纹进行除油，并在室温下晾干 15min。晾干后将 Loctite272 厌氧胶分别均匀涂在管接嘴和对应壳体螺纹孔的螺纹上，胶膜要求连续均匀，无断胶现象。利用虎钳将管接嘴与壳体组合，组合后用清洁干燥的脱脂棉擦去多余的胶。涂胶并组合好后，壳体组合件在室温条件下放置 24h 及以上，待 Loctite272 厌氧胶完全固化。

固化后用压力为 1.96MPa 对壳体内腔及管接嘴进行试验，保持 3min 后观察其是否渗漏，结果均未发现渗漏，并且通过对多台发动机试车观察，密封性均良好。

4.3 聚硫密封剂在防腐上的应用

XX27 空气涡轮起动机的机匣是由 ZM6 铸造而成，螺塞是 40CrNiMoA 材料，由于腐蚀介质易渗入螺塞与机匣壳体的螺纹间隙，易引起镁合金腐蚀，而且螺塞与机匣两种不同金属相互接触，由于两者电位的不同，接触的金属之间会形成腐蚀电池，产生腐蚀电流，加速了镁合金的腐蚀。

为避免腐蚀介质渗入以及两金属直接接触而引起腐蚀，安装螺塞时涂 HM105 密封胶，并进行湿装。HM105 密封剂是以液体聚硫橡胶为主要成分的室温硫化型双组分材料，主要用于航空发动机易受化学腐蚀的结构密封保护，长期使用温度范围为 -55~120℃，室温条件下到达不粘期后 50℃ ± 2℃ 硫化 8h 或 70 ± 2℃ 下硫化 6h 即可。

清洁相关涂胶面并晾干后，在螺塞上涂 HM105 密封胶，湿装并固化，经湿热、霉菌、盐雾试验，相关位置仍未出现锈蚀现象，防腐效果良好。

5 粘接质量的控制

为保证粘接质量，必须从人员、设备与仪器、材料、工艺过程等方面严格控制其质量，每个过程对粘接质量都有着重要影响。

5.1 操作人员

从事粘接的人员应经过专门的培训，考核合格后持证，并且在有效期内方可上岗操作。

5.2 设备与仪表

所有工装、温度计、湿度计、天平、烘箱设备等应有足够的灵敏度，并且按规定时间校检，检验合格后方可投入使用。烘箱应有自动控温与鼓风装置，烘箱内有效加热区的温度均匀性应不大于 ± 10℃。

5.3 粘接剂

粘接剂应经过检验，检验合格后方可使用。

5.4 工艺过程

经表面处理并干燥的零件，一般应在以下规定的时间内涂敷粘接剂：铝合金零件，喷砂或打磨处理为 4h，化学处理为 8h，阳极氧化为 24h；钢零件为 4h；钛合金零件为 16h^[7]。

在使用液态粘接剂前，应将其充分调匀或摇匀，不应有沉积现象。

胶层厚度影响粘接质量，胶层过薄易出现缺胶现象，使

粘接强度大大降低；胶层过厚，缺陷多，变形大，收缩大，内应力大，粘接强度低，因此，在保证不缺胶的情况下，胶层尽量薄些^[8]，一般认为胶层厚度控制在 0.1mm~0.2mm 为宜。

5.5 环境

粘接工作间应控制合适的温湿度，工作间内不得进行产生不受控制的喷雾、灰尘、油雾气或尘埃物质的操作^[6]。用于吹干零件的压缩空气管路应安装油水分离器，保证压缩空气清洁。

6 粘接技术的特点

在中小航空发动机制造领域，粘接技术与传统的连接方法，如普通的焊接、铆接等相比，具有以下特点^[4]：

- (1) 整个粘接面均能承受载荷作用，应力分布均匀，无焊、铆接等工艺连接后出现的应力集中现象。
- (2) 粘接工艺温度低，可避免局部高温对零件的机械性能影响。
- (3) 具有良好的密封性，而且粘接剂通常都是电绝缘体，故能防止金属件发生电化学腐蚀。
- (4) 粘接剂能对不同种类或类型的材料进行连接，如相同和不同材料间的连接、金属及非金属材料的连接。
- (5) 相对焊、铆接等工艺，粘接结构重量轻，表面光滑美观。

7 结语

粘接技术在中小航空发动机的防腐、紧固、防漏、超差补救等方面具有重要作用，且其操作简便、效果良好，尤其随着航空发动机减重、降成本等要求的越来越高，粘接技术的优势越加明显，已成为中小航空发动机制造中不可或缺的技术。

参考文献

- [1] 陈先有, 崔晶. 先进的装配连接技术在航空制造领域的应用分析[J]. 机械制造, 2007, 45(519):53-55.
- [2] 朱则刚. 探秘车用胶粘剂及其发展趋势[J]. 橡塑资源利用, 2012, (04):38-41.
- [3] 燕来荣. 粘接密封剂在汽车维修中的应用[J]. 中国设备工程, 2006, (09):55-56.
- [4] 王舟. 胶接技术在工程中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2012, (01): 195-196.
- [5] 殷立新, 徐修成. 胶粘基础与胶粘剂[M]. 北京: 航空工业出版社, 1988.
- [6] 郭永利, 韦库明. 金属粘接技术在设备维修中的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2010, (25):20.
- [7] 赵升龙, 刘清方, 梁滨. 金属结构胶接质量控制[C]//中国航空学会, 中国宇航学会, 中国力学学会, 中国复合材料学会. 第二十一届全国复合材料学术会议 (NCCM-21) 论文集. 中国航发北京航空材料研究院, 2020:426-431. DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.015906.
- [8] 王国高. 高固含量鞋用水性聚氨酯胶粘剂的研究[D]. 华南理工大学, 2010.