

一种飞机结构修理胶粘剂性能分析

王新军¹, 邓强², 乔乔²

(1. 空军第一航空学院, 信阳 464000;

2. 中国人民解放军 93707 部队, 张家口 075000)

[摘要] 针对飞机结构修理过程中常用胶粘剂的固化温度高、固化时间长、固化热应力大的问题,以环氧树脂为基本配料,通过添加丁腈橡胶增强胶粘剂的韧性,添加固化剂和硅烷偶联剂缩短固化时间。剪切试验表明,该胶粘剂在 80℃ 下经 90min 固化后剪切强度可达到 35MPa,可满足飞机结构损伤平时修理和应急修理的要求。

关键词: 胶粘剂; 飞机结构; 修理; 环氧树脂

Property Analysis of a Plane Structure Repairing Adhesive

WANG Xinjun¹, DENG Qiang², QIAO Qiao²

(1. The First Aeronautical Institute of China's Airforce, Xinyang 464000, China;

2. Unit No. 93707 of PLA, Zhangjiakou 075000, China)

[ABSTRACT] In order to shorten the thermal curing circle and decrease the high thermal stress caused by high curing temperature, the epoxy resin is modified by chemigum to enhance its toughness, and using solidification agent and silane coupling agent to shorten the curing duration. The test results show that the proposed adhesive can be cured at 80℃ within 90 minutes, and the cured adhesive coat can bear 35MPa adhesive stresses, and the adhesive can meet plane repair needs.

Keywords: Adhesive; Plane structure; Repair; Epoxy resin

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.03.071

胶接结构与机械紧固件结构相比的主要优点是减轻质量和改善疲劳性能,随着胶接科学和胶接技术的发展,胶粘剂在航空制造与修理领域的应用日益广泛^[1]。飞机结构用胶粘剂一般以热固性树脂为基料,以热塑性树脂或弹性体为增韧剂,配以固化剂等组成,有的还添加填料、溶剂、稀释剂、偶连剂、固化剂等,胶粘接的粘接强度主要取决于胶粘剂本身的内聚力及被粘接材料之间的粘附力^[2]。环氧树脂具有优异的粘接性能、机械性能、电绝缘性能、耐高温性能以及收缩率低等优点,在航空航天制造与修理领域得到广泛应用^[3]。对于飞机结构损伤修理而言,由于应急修理现场一般不具备高温固化条件,应尽量采用中温或室温固化剂对受损结构进行修理^[4]。然而,目前在飞机制造过程中广泛使用的环氧树脂胶粘剂固化温度较高,而且对胶接材料表面处理有较高的要求,限制了胶接技术在飞机修理工作中的应用。为了改善胶粘剂的性能,国内外学者主要从热固化工艺和胶粘剂改性两方面进行了探索。Xue 等^[5]研制了一种热膨胀夹具,在同等固化温度条件下残余热应力可减少 39%;王凤文等^[6]研究了微波固化、电子束固化、

紫外光固化等方式,结果表明:与传统加热方式相比新的固化方法能够减小固化时间,但是,可用于非传统热传递方式的树脂体系较少、树脂界面粘接性能较差。对于航空航天领域常用的环氧树脂结构胶而言,由于环氧树脂固化物具有较高的交联结构,存在易发脆和抗冲击性差等缺点,难以满足工程技术的使用要求,通常可采用多种方法对环氧树脂进行增韧改性^[7-8]。航空航天领域结构胶广泛采用丁腈橡胶、CTBN、聚丙烯酸脂改性环氧树脂体系作为胶粘剂^[9-10]。

这些胶粘剂虽然对经过严格表面处理的铝合金有良好的粘接强度和耐久性能,但是对没有进行严格表面处理的金属和非金属材料,粘接强度和耐久性能普遍较差^[11]。朱爱琴等对改性环氧树脂添加 KH-550 硅烷偶联剂后进行试验,结果表明:添加 KH-550 后能显著提高胶粘剂涂层的接触角和附着力,并且可同时降低固化时间^[12]。

本文采用丁腈橡胶对环氧树脂进行改性增韧,通过添加 KH-550 及丙烯酸丁脂、脂肪族多元胺作为改性固化体系,通过应力松弛试验和抗拉伸剪切性能试验分析

了胶粘剂的力学性能,并确定了改性环氧树脂胶粘剂的最佳配比。

1 试验方法

考虑到飞机金属结构胶接特性,参照飞机复合材料制造参数和国内市场情况,利用碳纤维/环氧树脂复合材料增强补片对飞机结构修理中常用的 2024、7075 铝合金进行粘接修理试验,从酚醛树脂胶系、酚醛/丁腈胶系和环氧/丁腈胶系 3 种常用胶粘剂系统选择 3 种适合铝合金与复合材料粘接的胶粘剂,其主要性能如表 1 所示。其中,新研制的环氧/丁腈胶 DYD128-CHX100 采用 80% 的双酚 A 型 DYD128 环氧树脂与 20% 的 CHX100 端环氧反应性液体丁腈橡胶树脂增韧剂。

表1 典型结构修补胶粘剂的主要性能

类型	牌号	固化温度/℃	固化时间/h	室温剪切强度/MPa	固化压力/MPa
酚醛树脂	J-01	120	5	28.2	0.3~0.5
酚醛/丁腈胶	J-15	115	5	35.4	0.3~0.5
环氧/丁腈胶	DYD128-CHX100	115	4	39.5	0.1~0.5

以上 3 种胶均能够在 120℃ 以内固化而且能够获得较高的静强度,其中环氧/丁腈胶和酚醛/丁腈胶的静强度最高。由于胶粘剂的抗应力松弛性和抗剪切性对修补的可靠性影响很大,因此对这 3 种胶进行抗应力松弛试验和抗拉伸剪切试验比较,试验方法如下。

在金属板表面胶接补强板,对金属件施加恒定载荷,随着时间的增加,由于应力松弛作用,胶层的载荷传递效率减小,即胶层所承担的剪应力逐渐变小。因此,通过测量在相同载荷条件下胶层应变随时间的变化可以对胶层的抗应力松弛性进行评价。应力松弛性试验件加载形式如图 1 (a) 所示,金属板采用 3mm 厚的三角形 7050 铝合金板,在铝合金板上利用表 1 中的胶粘剂粘接一块长 15mm、宽 10mm 的补强板,补强板为 0.3mm 厚的碳/环氧复合材料,在金属板下方加载一个重 100kg 的质量块;应变片的安装如图 1 (b) 所示。

为了进一步降低固化温度和缩短固化时间,对选定的环氧树脂胶粘剂应用不同固化剂改性,固化剂为脂肪族多元胺,采用两种改性剂(丙烯酸乙脂、丙烯酸丁脂)对胶粘剂进行改性。为了改善仅进行简单打磨和脱脂处理的铝合金表面与胶层间的附着力,分别向改性后的胶粘剂添加质量百分比为 3% 的硅烷偶联剂,最后对不同组分的胶粘剂按照国家标准 GB/T7124-86 进行抗拉

伸剪切性能对比试验。热固化过程中,利用工业电热毯加热固化,固化温度控制曲线如图 2 所示,在 80℃ 保温 80min 后自然冷却到室温。

2 结果分析

为了比较不同胶粘剂的抗应力松弛性能,在悬臂梁上逐渐增加载荷,使得试验件的表面应变达到给定值,然后卸载,测量出 t 时刻应变补强板上的压缩应变 ε_t 和 t_0 时刻的应变 ε_0 ,将比值 $|\varepsilon_t - \varepsilon_0| / \varepsilon_0$ 取作在时间 t 的松弛程度指标,试验结果如表 2 所示。

可以看出, DYD128-CHX100 环氧/丁腈胶的抗应力松弛性能最高,应变传递效率最好,说明添加丁腈橡胶能够提高环氧树脂的抗疲劳特性。

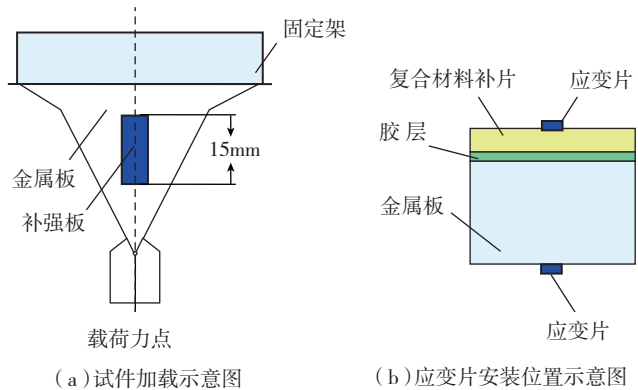


图1 应力松弛试验件示意图
Fig.1 Diagram of stress relaxation specimen

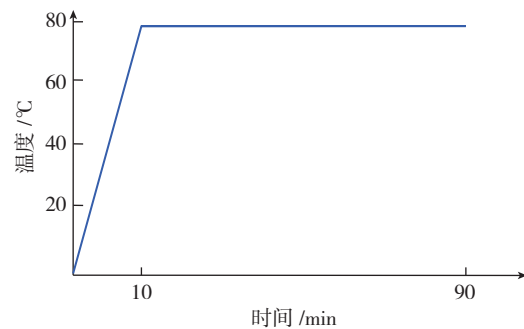


图2 固化温度控制曲线
Fig.2 Control curve of curing temperature

表2 3种胶系的松弛测量结果

胶系	牌号	固化温度/℃ 和时间/min	胶层 厚度/mm	$ \varepsilon_t - \varepsilon_0 / \varepsilon_0$
酚醛树脂	J-01	120 和 300	0.1	0.02
酚醛/丁腈	J-15	115 和 300	0.07	0.40
环氧/丁腈	DYD128-CHX100	105 和 240	0.05	0.01

抗剪切对比试验采用两种改性剂(丙烯酸乙酯、丙烯酸丁酯)对胶粘剂进行改性,丙烯酸乙酯改性剂与固化剂的摩尔比为 1:1 的试样记为 A1,丙烯酸丁酯与固化剂的摩尔比为 1:1 的试样记为 B1,丙烯酸乙酯改性剂与固化剂的摩尔比为 1.5:1 的试样记为 A2,丙烯酸丁酯与固化剂的摩尔比为 1.5:1 的试样记为 B2,固化剂与环氧树脂采用 4 种配比(摩尔比),1:3、1:5、1:7 和 1:9,编号分别为 1、2、3、4,则共有 16 种胶粘剂样品,试验结果如表 3 所示。

表3 环氧树脂胶粘剂抗拉伸剪切性能 MPa

固化时间 /min	A11	A12	A13	A14	A21	A22	A23	A24
60	21.1	23.6	23.22	20.5	22.9	24.9	24.57	22.0
80	29.4	32.4	30.9	26.7	30.5	35.1	33.6	29.7
100	30.5	33.45	31.9	27.9	30.8	35.8	34.5	31.3
固化时间 /min	B11	B12	B13	B14	B21	B22	B23	B24
60	24.1	25.9	24.4	23.3	24.9	28.3	25.6	25.2
80	32.4	34.7	33.7	32.1	34.3	35.9	34.9	34.5
100	33.2	35.3	34.1	33.4	35.1	36.1	35.3	34.6

从剪切试验结果可以看出,添加脂肪族多元胺固化剂后,当固化时间大于 90min 时其抗剪切性能达 27MPa 以上,根据某型飞机结构受力分析其胶接修理后室温抗剪切强度平均值应不小于 27MPa,可满足飞机结构粘接修复的抗剪切强度要求,固化时间超过 110min 则对胶粘剂抗剪切性能的提高不足 2MPa;对比不同配比的固化剂抗剪切性能,采用丙烯酸丁酯与脂肪族多元胺的摩尔比为 1.5:1 时改性固化剂的性能最佳。

3 结论

(1) 利用丁腈橡胶对环氧树脂进行增韧改性,能够提高环氧树脂的抗应力松弛性能,DYD128-CHX100 环氧/丁腈胶的抗应力松弛性能最佳;

(2) 添加质量百分比为 3% 的硅烷偶联剂能提高胶粘剂涂层表面附着力,被粘接铝合金表面仅进行打磨和脱脂处理后粘接良好,固化 90min 后胶粘体系的剪切破坏载荷大于 30MPa,说明只需对铝合金表面进行简单处理就可获得较高的抗剪切强度,便于实施原位修理;

(3) DYD128-CHX100 环氧/丁腈胶添加脂肪族多元胺固化剂能有效减小环氧树脂的固化时间,采用丙烯酸丁酯与脂肪族多元胺的摩尔比为 1.5:1 作为改性固化剂,固化剂与环氧树脂的配比为 1:5 时抗剪切效果最佳,经 90min 固化后室温下抗拉伸剪切强度可达 35MPa,可满足飞机结构胶接修复的强度要求。

参考文献

- [1] 马海全,王倩妮,钱雷,等.胶接结构破坏模式及失效机理[J].失效分析与预防,2012,3(7):162-166.
- [2] 李春威.复合材料胶接技术的发展与应用[J].航空制造技术,2011(20):88-91.
- [3] 周卫新,曾黎明.环氧树脂增韧研究进展[J].中国胶粘剂,2006,15(5):50-54.
- [4] 谌广昌,袁春明,俞颖,等.J-241 胶在直升机复合材料结构装配和修补中的应用分析[J].直升机技术,2010(1):40-42.
- [5] XUE J, WANG W X, TAKAO Y, et al. Reduction of thermal residual stress in carbon fiber aluminum laminates using a thermal expansion clamp[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2011, 42(8):986-992.
- [6] 王凤文,贺旺,许光群.飞机复合材料修理中固化技术的探讨[J].航空维修与工程,2012(3):78-81.
- [7] CHUN W, SONG T T, XIA Y W, et al. Effects of liquid crystalline polyurethane on the structure and properties of epoxy[J]. Journal of Materials Science Letters, 2002, 21: 719-722.
- [8] 吴宗汉,罗曼.环氧树脂及涂料的增韧改性[J].涂料工业,2009,39(2):62-65.
- [9] WU Zonghan, LUO Man. Trends in modification of tenacity of epoxy resin and paint[J]. Paint and Coating Industry, 2009, 39(2): 62-65.
- [10] IJIMA T, FUJIMOTO K L, TOMOT M, et al. Toughening of cycloaliphatic epoxy resins by poly and related copolyesters[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2002, 84(2): 388-399.
- [11] LIANG Y L, PEARSON R A. The toughening mechanism in hybrid epoxy-silica-rubber nanocomposites[J]. Polymer, 2010, 51(21): 4880-4890.
- [12] 黄强,刘波,王超,等.有机硅改性丙烯酸酯聚合物对环氧树脂胶粘剂性能的影响[J].高分子材料科学与工程,2011,27(12):75-78.
- [13] HUANG Qiang, LIU Bo, WANG Chao, et al. The properties of epoxy resin adhesive affected by organosilicone modified acrylic polymers[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(12): 75-78.
- [14] 朱爱琴,沈利亚,吴蓁.低表面能树脂的性能及固化研究[J].上海涂料,2012,50(4):6-9.
- [15] ZHU Aiqin, SHEN Liya, WU Zhen. Study on property and curing of low surface energy resin[J]. Shanghai Coatings, 2012, 50(4): 6-9.

(责编 大漠)