

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.03.011

表面处理工艺对复合材料粘接修理的影响^{*}

赵培仲¹, 张永钢², 周向华², 时磊³, 戴京涛¹

(1. 海军航空工程学院青岛校区航空机械系, 山东青岛 266041; 2. 中国人民解放军 91911 部队, 海南三亚 572000;

3. 中国人民解放军 66347 部队, 河北保定 071000)

摘要: 为了满足应急抢修的需求, 实现结构承载能力的快速恢复, 研究了各种简化的表面处理工艺对于复合材料粘接修理的影响。研究表明, 采用简单的喷砂或打磨处理工艺可以获得较为满意的粘接修理强度。如果增加喷砂或打磨前后的溶剂清洗, 则可以获得更好的粘接强度。不进行表面处理或只是溶剂清洗难以满足修理的要求。不同表面处理工艺获得的修理试样, 其拉伸破坏形式不同。

关键词: 表面处理, 复合材料粘接修理, 破坏模式, 喷砂

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)03-0044-04

Effect of Surface Preparation on Bonded Composite Repair

Zhao Peizhong¹, Zhang Yonggang², Zhou Xianghua², Shi Lei³, Dai Jingtao¹

(1. Department of Aeronautical and Mechanical Engineering, Qingdao Branch, Naval Academy of Aeronautical engineering, Qingdao 266041,

China; 2. Unit 91911, PLA, Sanya 572000, China; 3. Unit 66347, PLA, Baoding 071000, China)

Abstract: In order to satisfy the requirement of quickness repair, to realize rapid recovery of carrying capacity of the structure, the effect of different simplified surface preparation process on bonded composite repairs was investigated. The results show that grit blast or sanding can give satisfying adhesive strength. Solvent rinsing before and after sanding or grit blast can improve further repaired structure's adhesive strength. However, adhesive strength is unsatisfactory for surface preparation of solvent rinsing only or nothing. The failure modes of the bonded composite repair samples are related closely to the surface preparation process.

Keywords: surface preparation; bonded composite repair; failure mode; grit blast

复合材料粘接修理金属损伤结构相对于采用传统的机械连接修理方法具有减缓应力集中、耐腐蚀和疲劳性能好、有效地减少结构质量增加等突出优点^[1-4]。复合材料粘接修理中的最关键工艺之一是粘接表面的处理工艺。表面处理工艺不仅直接影响粘接修理结构的强度, 而且对于结构的耐久性有着重要的影响^[5-7]。因此, 在粘接修理中, 对于表面处理工艺有着非常严格的要求, 其工艺过程相对比较复杂。然而, 在一些应急修理场合, 特别是在远离修理车间的条件下, 完全按照平时的表面处理工艺规范是无法完成的。一是时间非常紧迫; 二是施工条件非常有限。所以, 能否根据损伤结构的修理需要, 适当地简化表面处理工艺是值得研究的问题。因此, 笔者研究在相对艰苦的条件下采用简化的表面处理工艺对复合材料粘接修理的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

双酚 A 型环氧树脂: E44, 镇江丹宝树脂有限公

司;

固化剂聚酰胺 650: 巴陵石化有限公司;

高强玻璃纤维布: SW100A-90a, 南京玻璃钢研究院设计院;

铝合金板: YL12, 1.5 mm 厚, 青岛云海铝业有限公司。

1.2 主要仪器与设备

电子万能拉力试验机: WDW-1 型, 济南泰思特仪器有限公司。

1.3 表面处理工艺

表面处理工艺主要考虑外场条件下的情况, 可能由于任务紧急或材料设备不足, 和平时修理中工艺规程规定的工艺相比, 会省略掉一些步骤。主要的工艺方法有溶剂清洗、砂纸打磨、喷砂、酸蚀、涂偶

^{*} 中国博士后基金(20110491882, 2012T50875), 海军航空工程学院青岛校区发展基金

联系人: 赵培仲, 教授, 主要从事先进材料制备与成型技术研究

收稿日期: 2014-01-03

联剂或底漆等。本研究以简单快速为原则,选择这些工艺的一些组合来处理粘接修理表面。具体的方法如表 1 所示。其中溶剂清洗后都进行干燥处理。

表 1 试样表面处理方法

代码	表面处理方法
N	不做任何处理,直接粘接
R	用丙酮清洗表面
S	砂纸打磨表面
B	喷砂
HR	脱脂棉蘸 10% 硝酸覆 5 min 后丙酮清洗
SR	砂纸打磨 + 丙酮清洗
BR	喷砂 + 丙酮清洗
RSR	丙酮清洗 + 砂纸打磨 + 丙酮清洗
RBR	丙酮清洗 + 喷砂 + 丙酮清洗

1.4 试样制备

损伤金属结构试样的制备。将 1.5 mm 厚 YL12 铝合金板裁成 35 mm × 140 mm 的矩形板,在中心处钻 8 mm 的圆孔作为损伤。

复合材料粘接修理试样的制备。将 E44 和固化剂聚酰胺 650 按质量比 1 : 1 混合均匀配制复合材料基体树脂,树脂同时作为胶黏剂使用。采用湿铺法粘接修理损伤金属板。补片采用 3 层 35 mm × 40 mm 的玻璃纤维布制成,80 °C 下固化 6 h。

1.5 拉伸测试

采用电子万能拉力试验机在室温下测试试样的拉伸性能。选择 5 mm/min 拉伸速率。试样测试每组 3 个,取平均值。

2 结果与讨论

2.1 粘接修理后的拉伸强度

粘接修理试样的拉伸强度主要取决于补片的强度以及补片与损伤试样之间的连接强度。在本研究中,补片的组成、制备以及固化方式基本保持一致,所以认为其具有相同的拉伸强度。补片和损伤试样之间通过树脂(胶黏剂)粘接,载荷通过两者之间的粘接界面,从损伤结构传递到复合材料补片。补片从而分担部分结构载荷,恢复结构的承载能力。在拉伸过程中,随着拉伸载荷的逐渐增加,粘接界面所承受的剥离、剪切和拉伸等载荷也不断增加,直至出现破坏。破坏可能发生在界面处,也可能是补片或结构自身的破坏。还有就是同时发生几种类型的混合破坏。本研究中的破坏模式主要是补片以及界面的破坏,或者两者同时破坏。

图 1 ~ 图 4 给出了不同表面处理工艺的粘接修理试样的拉伸性能曲线。从图 1 可以看出, RBR 处

理工艺试样的拉伸强度较大, B 和 BR 处理的拉伸强度则比较接近。也就是说,喷砂前后对试样表面进行溶剂清洗可以获得更好的粘接表面,进而获得更高的粘接强度。喷砂之前的溶剂清洗可以有效地清除粘接表面的油脂等污物。由于喷砂过程可能再次使粘接表面上附着脏污,喷砂之后的溶剂清洗可以保证表面的清洁。因此, RBR 的粘接强度会更好。

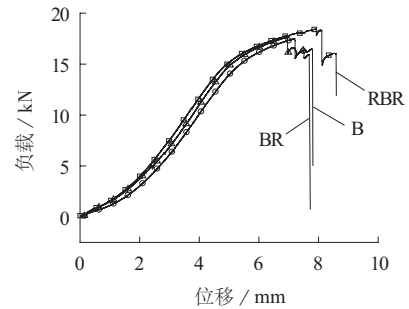


图 1 表面喷砂处理试样的拉伸性能曲线

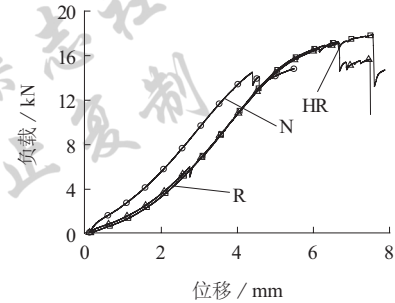


图 2 溶剂清洗和酸洗试样的拉伸性能曲线

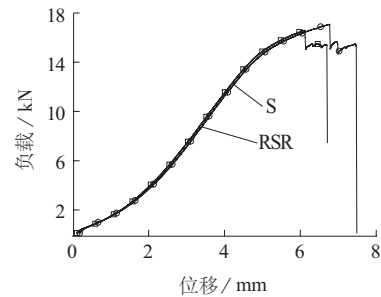


图 3 表面打磨处理试样的拉伸性能曲线

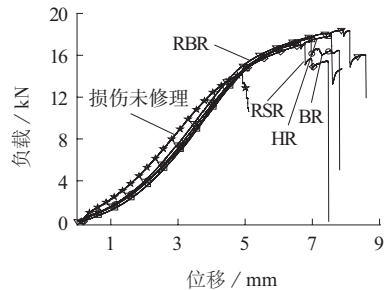


图 4 不同表面处理工艺试样的拉伸性能曲线

由图 2 可知,对粘接表面进行溶剂清洗和酸洗处理试样的拉伸强度如图 2 所示,可以发现酸洗试样的拉伸强度明显高于仅仅采用溶剂清洗的。相对

于用溶剂清洗,采用 10% 的硝酸清洗可以较好地清除粘接表面的污物,获得较好的粘接强度。但是,酸洗也容易导致金属结构自身强度的下降。同时,如果不采取任何表面处理措施,直接进行粘接修理的试样,修理后的拉伸强度则非常低,几乎失去修理前试样的承载能力。

相比较而言,采取砂纸打磨处理方法的试样也可以获得较为满意的粘接修理强度,见图 3。如果在打磨前后对试样进行溶剂清洗,则可以进一步提高复合材料粘接修理的强度。

表 2 为不同表面处理试样的粘接修理效率,其中修理效率为修理后强度与完好试样强度的比值。在实验范围内,RBR 系列的相对最高。因为喷砂处理不仅可以有效去除原来铝合金表面的疏松的氧化层,而且可以增加表面粗糙度。疏松氧化层的去除有利于获得新的表面。粗糙度的增加则有利于增加粘接的表面积和机械咬合的连接,提高粘接强度和载荷的有效传递。采取砂纸打磨也可以获得较高的粘接修理强度,但是,相对喷砂而言,效果较差,而且效率低。在无法实现喷砂的情况下,可以采用。

表 2 不同表面处理试样的粘接修理效率

试样类型	修理后强度 / kN	修理效率 / %
未损伤	14.19	
损伤未修理	22.1	
N	15.2	68.8
R	17.01	76.9
RSR	17.24	78
RBR	18.43	83.4
HR	17.66	79.9
BR	17.87	80.9
S	16.6	75.1
B	17.49	79.1

2.2 破坏模式

图 5 为不同表面处理试样的破坏模式。

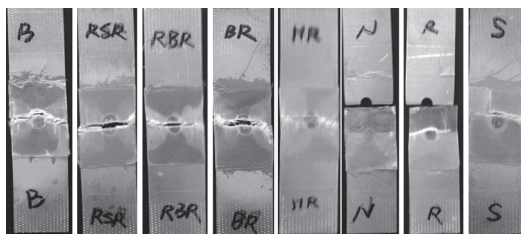


图 5 不同表面处理试样的破坏模式

没有进行表面处理,直接进行粘接修理的试样,补片在拉伸破坏时,从损伤试样上剥离失效,而补片本身则没有断裂,属于粘接界面破坏。同时,修理后强度较进行表面处理的试样要低。只是进行溶剂清洗的试样,和没有进行表面处理试样的失效模

式类似,补片被剥离失效。这表明,不进行表面处理而直接进行粘接修理,补片和损伤结构之间的粘接强度较差,拉伸测试时,补片和损伤结构之间发生剥离破坏,而且,从图 5 可以看出,胶层没有留在损伤结构的表面,说明两者之间的结合非常差,这种破坏事实上属于胶层和损伤结构表面之间的界面破坏。界面破坏后,补片和损伤结构剥离,结构载荷无法传递到补片上,结构随之破坏。

经过喷砂或砂纸打磨处理后,损伤金属结构表面疏松的氧化层被去除,新的表面更容易被树脂浸润,实现好的界面连接。所以,其典型的损伤模式是补片和损伤结构都断裂,而不是补片剥离失效。在损伤孔附近由于应力集中,补片的断裂都发生在此处,而且孔附近还发生上下基本对称的补片剥离现象,如图 5 所示的损伤孔附近的发白区域。补片的断裂处还存在一些纤维相互桥连,表明补片发生了面内剪切破坏。

此外,没有进行表面溶剂清洗,直接喷砂或砂纸打磨的试样,在补片端部也会有部分补片剥离现象,而且这些剥离相对孔附近的剥离发生的较早。进行溶剂清洗的试样在补片的端部基本没有剥离现象发生。在单面粘接贴补修理试样的拉伸过程中,补片端部的剥离应力是最大的,如果表面处理不好,粘接强度较低,很容易发生剥离破坏。经过溶剂清洗可以去除油脂等污物,提高粘接效果。因此,经过溶剂清洗处理的试样表现出更好的粘接强度。当然,在喷砂或砂纸打磨之前先进行溶剂清洗,可以避免油脂等污物残留或渗到喷砂后的表面,将会获得更好的效果。喷砂或砂纸打磨之后,进行溶剂清洗则可以进一步去除污物,确保表面清洁崭新,实现树脂的更好浸润。

3 结论

由于在应急情况下,最注重的是结构在短时间内的承载能力,并不十分看重结构的耐久性。承载能力的快速恢复则可以取得更大的效益。因此,为了尽快恢复结构的承载能力,可以适当简化粘接表面的表面处理工艺。研究表明,采用喷砂或打磨可以获得较为理想的粘接修理强度。如果时间允许,增加喷砂或打磨前后的表面清洗工艺可以获得更好的粘接修理强度。但是,不进行表面处理或只是简单的溶剂清洗,难以获得理想的粘接修理强度。虽然,采取酸洗表面处理,也可以获得较高的粘接修理强度,但是使用该方法容易对结构本身造成损伤。

粘接修理试样的拉伸破坏模式反映了不同表面处理工艺得到的粘接修理效果。

参考文献

- [1] Baker A A, Rose L and Jones R. Advances in the bonded composite repair of metallic aircraft structure[M]. Amsterdam:Elsevier: 2002.
- [2] Zhao Peizhong, Hu Fangyou, Huang Xuren. Composite repair to aluminum alloy plate by photoinitiated and thermal curing[J]. Journal of Composite Materials, 2013, 47(9):1 179-1 184.
- [3] Xiong J J, Shenoi R A. Integrated experimental screening of bonded composites patch repair schemes to notched aluminum-alloy panels based on static and fatigue strength concepts[J]. Composite Structures, 2008, 83 (3):266-272.
- [4] 黄旭仁,胡芳友,赵培仲.加载速率对复合材料粘接修理金属结构力学性能的影响研究[J]. 复合材料学报, 2013, 30(2):220-225.
- [5] Baldan A. Adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: adhesives, adhesion theories and surface pretreatment[J]. Journal of Materials Science, 2004, 39:1-49.
- [6] Liu J, Chaudhury Manoj K. Effect of surface morphology on crack growth at a sol-gel reinforced epoxy / aluminum interface[J]. The Journal of Adhesion, 2006, 82:487-516.
- [7] Zhang Jinsheng, Zhao Xuhui, Zuo Yu, et al. Effect of surface pretreatment on adhesive properties of aluminum alloys[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2008, 24(2):236-240.

新疆将于 2016 年完全使用生物降解塑料地膜

降解地膜是为适应社会对环境保护的需要而产生的一种新型地膜,主要由生物降解母料与塑料粒子母料混合生产而成。不久前,新疆生产建设兵团与金发科技签订一份推广完全生物降解地膜的 3 年协议。2014 年,兵团 14 个师的 14 万亩农田使用完全生物降解地膜,2016 年,将在 600 万亩农田里使用完全生物降解地膜。

目前国内外开发应用的可控降解地膜种类主要有:光降解地膜、生物降解地膜和光、生物降解地膜。

这种地膜主要以天然高分子为原料,如日本采用纤维素与甲壳素水溶液制膜,德国采用直链淀粉或高直链淀粉及其它天然高分子材料制膜,我国也曾采用纤维素制膜。

但是,尽管这些薄膜能够降解,但都存在加工困难、力学性能和耐水性能差的问题,根本无法加以推广和应用。金发科技生产的完全生物降解地膜,在使用过程中性能稳定,使用后可被微生物或动植物体内的酶最终分解为二氧化碳和水。据研发团队负责人徐依斌介绍,这种可降解材料的最大研发难点在于,在需要时保持完整性,不需要时立刻降解,不能再留一点一滴的残物。这是两个十分矛盾的方向,也是世界难以攻克它的原因。

经过 3 年刻苦钻研,金发目前已经开发出完全生物降解和生物基两大产品系列共 10 个牌号的产品,形成了以“ECOPOND”为商品牌号的产品族。

该产品系列涉及的技术包含聚酯树脂的合成、聚酯树脂的反应挤出、合金化改性技术及其应用加工技术。系列产品通过了目前最为严格的生物降解标准 EN13432 测试,以二氧化碳释放量作为测试标准,能够在 180 天内实现降解 90%,降解物对植物生长没有任何负面影响。

据新疆生产建设兵团统计局不完全统计:2013 年,兵团残膜污染面积已经超过 60 万亩。未来 10 年我国地膜覆盖面积每年将以约 10% 的速度增加,新疆将是最主要的地膜增长区域。

(工程塑料网)

麦格纳开发汽车内饰用生物塑料

加拿大汽车供应商麦格纳国际公司正在为一种用制糖副产品制成的生物塑料寻找汽车应用。

总部位于加拿大安大略省 Aurora 的麦格纳公司已与意大利生物塑料公司 Bio-on srl 公司签署合作协议,利用 Bio-on 的聚羟基脂肪酸酯(PHA)基生物塑料来替代传统塑料材料,开发汽车产品。

麦格纳内饰运营业务部的高级工程副总裁 Dieter Fahrlander 表示,该项目是为了响应麦格纳客户群对可持续发展解决方案的需求。麦格纳已经进入生物塑料领域,但希望找到一种不依赖食品来源的解决方案。

Dieter Fahrlander 说,由于 Bio-on 公司的产品采用副产品(甜菜提炼食糖后残剩的糖浆),因此更具可持续性。

他说,这种原料的供应很充足,而且对食品链没有影响。

细菌合成聚合物 PHA 采用糖发酵而成。Bio-on 公司加入细菌吸收糖分并生成 PHA,随后进行提炼干燥。Bio-on 公司 CEO Marco Astorri 说,由此得到的白色粉状产品可供进一步加工,其性能不亚于传统塑料基商品。这种生物塑料还可生物降解。

Marco Astorri 说, Bio-on 公司的 PHA 已被用于各种产品中,包括家居摆设、手机和食品包装。麦格纳的第一项工作是开发一种汽车级树脂,并在热成型和注塑等工艺中对这种材料进行测试。

Dieter Fahrlander 说,麦格纳最初将专注于汽车内饰应用,最终将扩大至外饰用品。

但提高可持续性意味着成本的增加,至少目前来说是这样。

Dieter Fahrlander 说:降低汽车生产的碳足迹是我们的主要目标,问题在于成本,我想在未来一年里,我们始终将面临着生物材料成本方面的问题,所以这是我们需要解决的问题。材料测试将在麦格纳建在捷克 Liberec 的工厂内进行。

(慧聪网)