

论文

含半穿透损伤层合板挖补修理后的拉伸性能

关志东<sup>1</sup>, 刘遂<sup>1</sup>, 郭霞<sup>1</sup>, 席国芬<sup>2</sup>, 蔡婧<sup>2</sup>

- 1. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191;
- 2. 中国商飞设计研发中心, 上海 200232

**摘要:** 对含半穿透损伤层合板挖补修理后的拉伸性能进行了试验研究, 结果表明修理试件的拉伸强度和破坏模式随挖补斜度的变化出现显著差异。对修理试件的拉伸性能进行了有限元模拟, 计算得到的极限强度和破坏模式与试验结果吻合良好。数值模型计算结果表明, 挖补斜度是修理试件最重要的设计参数, 其对试件的极限强度、破坏模式及修理/未修理子层间界面损伤均有显著影响。研究结论可以为含半穿透损伤层合板的挖补修理设计提供理论指导。

**关键词:** 复合材料层板 挖补修理 拉伸强度 破坏模式 有限元模型

Tensile behavior of scarfing repaired laminates with half-depth damage

GUAN Zhidong<sup>1</sup>, LIU Sui<sup>1</sup>, GUO Xia<sup>1</sup>, XI Guofen<sup>2</sup>, CAI Jing<sup>2</sup>

- 1. School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;
- 2. Design and Research Center, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200232, China

**Abstract:** Experimental study on tensile behavior of scarfing repaired laminates with half-depth damage was conducted in the paper. Distinct differences were observed on ultimate strength and failure mode of specimens with different scarf ratio. A finite element model was developed to simulate the tensile behavior of repaired specimens. The calculated results are in good agreement with test results. The numerical results indicate that the scarf ratio is the most important design parameter of repaired specimen. Ultimate tensile strength, failure mode and interface layer damage between repaired and unrepaired sub laminates can be influenced dramatically by scarf ratio. Conclusions of the investigation provide insight into scarfing repair design method on laminates with half-depth damage.

**Keywords:** composite laminate scarfing repair tensile strength failure mode finite element model

收稿日期 2012-03-19 修回日期 2012-04-23 网络版发布日期

DOI:

基金项目:

通讯作者: 关志东, 教授, 主要研究方向为飞机结构设计、复合材料力学 E-mail: zdguan@buaa.edu.cn

作者简介:

作者Email: zdguan@buaa.edu.cn

参考文献:

- [1] 杜善义, 关志东. 我国大型客机先进复合材料应对策略思考[J]. 复合材料学报, 2008, 25(1): 1-10. Du Shanyi, Guan Zhidong. Strategic considerations for development of advanced composite technology for large commercial aircraft in China[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(1): 1-10.
- [2] Armstrong K B, Bevan L G, Cole II W F. Care and repair of advanced composites[M]. 2nd edition. PA USA: SAE international, 2005: 263-265.

扩展功能

本文信息

- ▶ Supporting info
- ▶ PDF(1330KB)
- ▶ [HTML全文]
- ▶ 参考文献[PDF]
- ▶ 参考文献

服务与反馈

- ▶ 把本文推荐给朋友
- ▶ 加入我的书架
- ▶ 加入引用管理器
- ▶ 引用本文
- ▶ Email Alert
- ▶ 文章反馈
- ▶ 浏览反馈信息

本文关键词相关文章

- ▶ 复合材料层板
- ▶ 挖补修理
- ▶ 拉伸强度
- ▶ 破坏模式
- ▶ 有限元模型

本文作者相关文章

- ▶ 关志东
- ▶ 刘遂
- ▶ 郭霞
- ▶ 席国芬
- ▶ 蔡婧

PubMed

- ▶ Article by GUAN Zhidong
- ▶ Article by LIU Sui
- ▶ Article by GUO Xia
- ▶ Article by XI Guofen
- ▶ Article by CAI Jing

- [3] Jones J S, Graves S R. Repair techniques for Celion-LARC-160 graphite-polyimide composite structures . Washington: NASA, 1984.
- [4] 孟凡颢, 陈绍杰, 童小燕. 层压板修理设计中的参数选择问题[J]. 复合材料学报, 2001, 18(4): 28-31 Meng Fanhao, Chen Shaojie, Tong Xiaoyan. Selection of the design parameters in laminate repair[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2001, 18(4): 28-31.
- [5] Kumar S B, Sridhar I, Sivashanker S I, et al. Tensile failure of adhesively bonded CFRP composites scarf joints[J]. Materials Science and Engineering B, 2006, 132: 113-120.
- [6] Kumar S B, Sivashanker S I, Osiyemi S O, et al. Failure of aerospace composite scarf-joints subjected to uniaxial compression [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 412: 117-122.
- [7] Pipes R B, Adkins D W, Deaton J. Strength and repair of bonded scarf joints for repair of composite materials . Washington: NASA, 1982.
- [8] Odi R A, Friend C M. An improved 2D model for bonded composite joints[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2004, 24: 389-405.
- [9] Campilho R D, Moura de M S, Domingues J J. Stress and failure analyses of scarf repaired CFRP laminates using a cohesive damage mode [J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2007, 21(8): 55-70.
- [10] Wang C H, Gunnion A J. On the design methodology of scarf repair to composite laminates[J]. Composite Science and Technology, 2008, 68: 35-46.
- [11] 林国伟, 陈普会, 胶接修补复合材料层合板失效分析的PDA-CZM方法[J]. 航空学报, 2009, 30(10): 1877-1882. Lin Guowei, Chen Puhui. PDA-CZM method for failure analysis of bonded repair of composite laminates[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(10): 1877-1882.
- [12] Yang Q D, Cox B. Cohesive models for damage evolution in laminated composites[J]. International Journal of Fracture, 2005, 133(2): 107-137.
- [13] Camanho P P, Davila C G, Moura de M F. Numerical simulation of mixed-mode progressive delamination in composite materials[J]. Journal of Composite Materials, 2003, 37(16): 1415-1438.
- [14] Turon A, Davila C G, Camanho P P, et al. An engineering solution for mesh size effects in the simulation of delamination using cohesive zone models[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2007, 74(10): 1665-1682.
- [15] Hashin Z. Failure criteria for unidirectional fiber composites[J]. Journal of Applied Mechanics, 1980, 47(2): 329-334.
- [16] Ye L. Role of matrix resin in delamination onset and growth in composite laminates[J]. Composite Science Technology, 1988, 33(4): 257-277.
- [17] 陈绍杰. 复合材料结构修理指南[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001: 146-176. Chen Shaojie. Guidebook on composite structures repair [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2001: 146-176.
- [18] Wang C H, Gunnion A. Design methodology for scarf repair to composite structures . Melbourne: Defense Science and Technology Organization Report, 2006.
- [19] Gunnion A J, Herszberg I. Parametric study of scarf joints in composite structures[J]. Composite Structures, 2006, 75: 364-376.
- [20] Boeing Ltd. Boeing 737-800 structural repair manual[S]. USA: Boeing Ltd, 2003.
- [21] Airbus Ltd. Airbus A320 structural repair manual[S]. France: Airbus Ltd, 2007.

#### 本刊中的类似文章

1. 阳建红, 董进辉, 李海斌, 石增强, 郭明映. F-12纤维的吸湿行为[J]. 复合材料学报, 2009, 26(3): 84-89
2. 王瑞, 王春红. 亚麻落麻纤维增强可降解复合材料的拉伸强度预测[J]. 复合材料学报, 2009, 26(01): 43-47
3. 陈洁, 李敏, 张佐光, 顾轶卓, 孙志杰. 铁基非晶条带-玻璃纤维混杂复合材料力学特性[J]. 复合材料学报, 2009, 26(6): 18-24
4. 苏佳智, 顾轶卓, 李敏, 张佐光. 弯曲载荷下碳纤维/双马复合材料湿热特性实验研究[J]. 复合材料学报, 2009, 26(5): 80-85
5. 王跃全, 童明波, 朱书华. 三维复合材料层合板渐进损伤非线性分析模型[J]. 复合材料学报, 2009, 26(5): 159-166
6. 程群峰, 许亚洪, 廖建伟, 方征平, 益小苏. 引发机制对复合材料波形梁吸能性能的影响及其破坏形貌分析[J]. 复合材料学报, 2008, 25(1): 161-167
7. 王利民, 卢俊杰, 刘灿昌, 孙明远, 代祥俊, 贺光宗. 碳纤维强化板及其加固混凝土梁的力学性能[J]. 复合材料学报, 2008, 25(3): 160-167
8. 杨成鹏, 矫桂琼. 界面对纤维增强陶瓷基复合材料拉伸性能的影响[J]. 复合材料学报, 2010, 27(3): 116-121
9. 马晓军, 赵广杰. 炭化条件对木材苯酚液化物碳纤维性能的影响[J]. 复合材料学报, 2008, 25(5): 74-78
10. 程小全, 康忻蒙, 邹健, 俞彬彬, 酆正能. 平面编织复合材料层合板低速冲击后的拉伸性能[J]. 复合材料学报, 2008, 25(5): 163-168
11. 孙凯, 李敏\*, 顾轶卓, 辛朝波, 张佐光, 刘军. 热压罐零吸胶工艺树脂压力在线测试及其变化规律[J]. 复合材料学报, 2010, 27(4): 94-99
12. 邹健, 程小全, 邵世纲, 范金娟, 张卫芳. 基于ANSYS环境的平面编织层合板拉伸破坏数值仿真[J]. 复合材料学报, 2007, 24(6): 180-184
13. 马晓军, 赵广杰. 纺丝液合成因素对木材液化物碳纤维原丝性能的影响[J]. 复合材料学报, 2007, 24(5): 119-124

14. 文思维,肖加余,曾竟成,江大志,张昌天.橡胶改性对碳纤维/环氧单向复合材料力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2007,24(4): 8-12
15. 王平,孟庆春,张行.含非对称矩形分层的复合材料层合板状态分解-片条合成能量解法[J]. 复合材料学报, 2004,21(1): 100-108
16. 葛世荣,张德坤,朱华,王军祥.碳纤维增强尼龙1010的力学性能及其对摩擦磨损的影响[J]. 复合材料学报, 2004,21(2): 99-104
17. 李晨锋,程建钢,胡宁,杨志宏,姚振汉.带脱层复合材料层板的低速冲击响应[J]. 复合材料学报, 2003,20(1): 38-44
18. 白静,孟庆春,张行.复合材料层合板三维分层问题的断裂力学分析[J]. 复合材料学报, 2002,19(3): 75-82
19. 曹英斌,张长瑞,周新贵,陈朝辉.UD-C<sub>f</sub>/SiC陶瓷基复合材料的高温拉伸性能[J]. 复合材料学报, 2001,18(3): 81-84
20. 舒小平.复合材料层板层间缺陷分析——剪切滑移[J]. 复合材料学报, 2001,18(3): 101-105
21. 咸贵军,益小苏,卢晓林,胡永明.长玻璃纤维/聚丙烯复合材料粒料注塑制品的拉伸强度[J]. 复合材料学报, 2001,18(2): 41-45
22. 孟庆春,胡伟平,张行.含椭圆形分层层板的状态分解-片条合成能量解法[J]. 复合材料学报, 2001,18(2): 102-108
23. 叶宁,王军,酆正能,寇长河.SMAs复合材料层板大变形分析计算[J]. 复合材料学报, 2001,18(2): 114-117
24. 寇长河,程小全,酆正能.低速冲击后复合材料蜂窝夹芯板的拉伸特性[J]. 复合材料学报, 1998,15(4): 69-73
25. 张立群,金日光,耿海萍,陈松,周彦豪.短纤维橡胶复合材料强度的理论研究I 纵向拉伸强度的理论预测[J]. 复合材料学报, 1998,15(4): 89-96
26. 胡伟平,孟庆春,张行.含内部分层复合材料层板三维问题的三角级数能量解法[J]. 复合材料学报, 1998,15(3): 113-118
27. 王小群,杜善义,韩杰才,曲伟.高速宽频带导弹天线罩的耐烧蚀透波材料研究[J]. 复合材料学报, 1999,16(3): 12-18
28. 刘丽,黄玉东,张志谦,左志军,万绍群.超声波对F-12/环氧复合材料力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 1999,16(1): 67-71
29. 胡彬,胡宁,姚振汉,福永久雄,关根英树.带脱层的复合材料层板的屈曲分析[J]. 复合材料学报, 0,(): 149-158
30. 孟庆春,胡伟平,张行.含矩形内部分层的复合材料层板的状态分解-片条合成能量解法[J]. 复合材料学报, 1999,16(3): 118-123
31. 胡彬,胡宁,姚振汉,福永久雄,关根英树.带脱层的复合材料层板的屈曲分析[J]. 复合材料学报, 1999,16(1): 149-158
32. 孟庆春,胡伟平,张行.含矩形内部分层的复合材料层板的状态分解-片条合成能量解法[J]. 复合材料学报, 0,(): 118-123
33. 韩小平,曹效昂,朱西平,岳珠峰.孔口缝合补强对含孔层板应变集中影响的实验研究[J]. 复合材料学报, 2006,23(4): 169-174
34. 汪海滨,张卫红,许英杰.C/C-SiC机织复合材料尺度参数对力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2010,27(5): 93-100
35. 陈纲,酆正能,寇长河.T300 帘子布/QY9512 缝纫含孔板拉伸性能[J]. 复合材料学报, 2005,22(4): 108-111
36. Ali Al-Mansour,程小全,寇长河.单面贴补修理后层合板的拉伸性能[J]. 复合材料学报, 2005,22(3): 140-144
37. 王丹勇,温卫东,崔海涛.复合材料单钉接头三维逐渐损伤破坏分析[J]. 复合材料学报, 2005,22(3): 168-174
38. 李嘉禄,贺桂芳,陈光伟.温度对三维五向编织/环氧树脂复合材料拉伸性能的影响[J]. 复合材料学报, 2010,27(6): 58-63
39. 徐蕾,陈彩霞,吴申庆.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>短纤维/M124F复合材料的凝固组织[J]. 复合材料学报, 2010,27(6): 76-81
40. 李俊升,王晓恩,唐浩林,王正帮,潘牧.ePTFE含量对ePTFE/Nafion复合质子交换膜力学性能的影响及其增强阈值[J]. 复合材料学报, 2011,28(2): 22-26
41. 赵霞,柯黎明,徐卫平,刘鸽平.搅拌摩擦加工法制备碳纳米管增强铝基复合材料[J]. 复合材料学报, 2011,28(2): 185-190
42. 赵艳文,顾铁卓,李敏,张佐光.碳纳米管-玻璃纤维/环氧层板双真空灌注工艺及性能[J]. 复合材料学报, 2011,28(3): 13-19
43. 卢鑫,孙志杰,李超,顾铁卓,李敏,辛朝波,张佐光.硅橡胶热膨胀工艺预浸料铺层内树脂压力变化规律[J]. 复合材料学报, 2011,28(3): 50-55
44. 汪源龙,程小全,范舟,高宇剑,陈纲.国产CCF300/双马树脂层合板高温拉伸与压缩性能试验研究[J]. 复合材料学报, 2011,28(3): 180-184
45. 李昊,戴福洪,杜善义.双稳定矩形非对称复合材料层板的跳变研究[J]. 复合材料学报, 2011,28(4): 196-201
46. 刘兆麟,程灿灿,刘丽芳,俞建勇.变截面三维编织复合材料减纱工艺与弯曲性能[J]. 复合材料学报, 2011,28(6): 118-124
47. 刘杰,白艳霞,田宇黎,黄翔宇,王春华,梁节英.电化学表面处理对碳纤维结构及性能的影响[J]. 复合材料学报, 2012,(2): 16-25

48. 毛春见, 许希武, 郑达. 缝合复合材料层板低速冲击及冲击后压缩实验研究[J]. 复合材料学报, 2012,(2): 160-166
49. 张莎, 田艳红, 张学军, 代红蕾, 田建军. 电化学氧化对高强高模碳纤维表面结构及力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2012,(3): 1-8
50. 张纪奎, 马志阳, 程小全, 陈纲. 复合材料三钉单搭连接有限元模拟与钉载分布[J]. 复合材料学报, 2012,(3): 179-183
51. 朱莉莉, 顾轶卓, 孙志杰, 李敏, 张佐光. 分散方法对低含量碳纳米管玻纤/环氧层板性能的影响[J]. 复合材料学报, 2012,(5): 11-17
52. 杨银环, 周振功, 郭颖, 吴林志. 缺陷对单搭胶接接头力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2012,(5): 157-163
53. 朱书华, 王跃全, 董明波. 复合材料层板阶梯形挖补胶接修理渐进损伤分析[J]. 复合材料学报, 2012,(6): 164-169
54. 万亚茗, 贺鹏飞, 嵇醒, 顾明元, 吴人洁. 用脉冲激光法测量金属基复合材料界面强度[J]. 复合材料学报, 1997,14(2): 50-55
55. 万亚茗, 贺鹏飞, 嵇醒, 顾明元, 吴人洁. 用脉冲激光法测量金属基复合材料界面强度[J]. 复合材料学报, 0,(0): 50-55
56. 华玉, 邴正能, 何庆芝. 任意铺层开裂复合材料层板本构关系探讨及特例分析[J]. 复合材料学报, 1996,13(4): 82-88
57. 崔维成. 复合材料结构破坏过程的计算机模拟[J]. 复合材料学报, 1996,13(4): 102-111
58. 张根全, 王俊奎. 双模数复合材料层板分析中的一种新方法——有限层元素法[J]. 复合材料学报, 1996,13(3): 125-128
59. 舒小平. 满足板面载荷和横向剪应力连续的层板理论[J]. 复合材料学报, 1994,11(4): 61-68
60. 李卓球. 层合板强度分析的双增量法[J]. 复合材料学报, 1993,10(3): 123-128
61. 陈荣, 张国定, 吴人洁. 碳/铝复合材料界面结合强度对拉伸性能的影响[J]. 复合材料学报, 1993,10(2): 121-126
62. 成会明, 周本濂, 郑宗光, 师昌绪. 表面镀铝及附着碳化硅微粒的高模碳纤维与铝的压铸复合特性[J]. 复合材料学报, 1991,8(3): 1-8
63. 陶杰, 肖军, 李顺林, 骆心怡. 碳/环氧复合材料多向层间拉伸强度的研究[J]. 复合材料学报, 1991,8(3): 71-76
64. 孟庆春, 张行. 对称正交铺层复合材料层板分层(剥离)问题的解析——广义变分解法\*[J]. 复合材料学报, 1990,7(3): 51-59
65. 刘遂, 关志东, 郭霞, 席国芬, 蔡婧. 混杂铺层层板穿透挖补修理后拉伸性能[J]. 复合材料学报, 2013,30(1): 223-229

#### 文章评论

反馈人	<input type="text"/>	邮箱地址	<input type="text"/>
反馈标题	<input type="text"/>	验证码	<input type="text" value="0117"/>
反馈内容	<input type="text"/>		

Copyright by 复合材料学报