

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.11.009

胶接修理方式对复合材料层合板拉伸性能的影响

刘国春¹, 赵平², 魏桂明¹, 杨文锋¹

(1. 中国民用航空飞行学院, 四川广汉 618307; 2. 中石油长城钻探长城西部钻井有限公司, 辽宁盘锦 124000)

摘要: 针对含圆形穿透损伤的复合材料层合板, 分别采用双面贴补和挖补两种方式进行修理, 对修补结构进行了拉伸性能测试, 同时进行了完好板与含圆形穿透损伤未修理试验件的对比拉伸性能试验。试验结果表明: 含圆形穿透损伤未修理试验件的拉伸强度仅为完好试验件拉伸强度的 49.27%; 采用贴补和挖补两种方式进行修理的结构拉伸强度恢复率能达到 100% 左右; 试验件的破坏模式均为横向断裂, 完好试验件的破坏出现在靠近加强片的位置, 含圆形穿透损伤未修理试验件的破坏出现在圆形穿透孔所在横截面; 50% 的贴补修理试验件的破坏位置出现在非修理区, 对应的拉伸强度较高, 达 358.15 MPa, 另外有 50% 的试验件出现在修理区, 对应的强度值偏低, 仅为 293.3 MPa; 挖补修理试验件的破坏位置均出现在非修理区, 且拉伸强度均较高, 达 347.1 MPa。试验结果表明, 挖补修理复合材料层合板的拉伸强度较贴补修理高 6.5%, 性能优于贴补修理。

关键词: 复合材料层合板; 胶接修理; 双面贴补; 挖补修理; 拉伸强度

中图分类号: TB331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)11-0047-07

Effects of Bonding Repair Methods on Tensile Properties of Composite Panels

Liu Guochun¹, Zhao Ping², Wei Guiming¹, Yang Wenfeng¹

(1. Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China; 2. Greatwall Western Drilling Company Limited, CNPC, Panjin 124000, China)

Abstract: Two different methods, double-lap repair and scarf repair were used to repair the composite panels with circular penetrated damage and tensile tests were carried out to compare their performances. As a comparison, the tensile tests of unnotched laminate and damaged laminate were also carried out and their tensile strengths were used to compute the repair efficiency. Test results show that the damaged and unrepaired laminate's tensile strength is only about 49.27% of that of the pristine laminate. However, after repaired, the tensile strength recovery rates of the double-lap-repaired and scarf repaired structure can reach about 100%. The failure modes are main transverse net-tension failure. For unnotched laminate, the failure occurs near the tabs. While for damaged laminate, the failure is found to be along the cross section of the hole. For about 50% of double-lap specimens, the failure occurs in the undamaged region and the tensile strength is also higher, which are up to 358.15 MPa. While for the other 50% of double-lap specimens, the failure occurs in the repair region and the corresponding strength is lower which is only 293.3 MPa. For all scarf repair specimens, the ultimate failure is found to be in the undamaged area, and the recovery tensile strength is 347.1 MPa. The tensile strength of scarf repair is 6.5% higher than that of the double-lap repair. The performance of scarf repair is superior to the double lap repair.

Keywords: composite laminate; bonded repair; double-lap repair; scarf repair; tensile strength

由于复合材料具有比强度、比模量高, 耐疲劳, 耐腐蚀等诸多优异性能, 已大量应用于航空航天的结构器件中。随着先进复合材料的大批量使用, 复合材料结构在生产、使用和维护过程中的缺陷或损

伤逐渐增多, 复合材料损伤构件的修理问题也逐步成为研究热点。

复合材料的修理方式主要包括机械连接修理和胶接修理, 而胶接修理又分为贴补与挖补修理两

基金项目: 四川省教育厅项目(18ZB0689), 四川省科技厅军民融合重点研发项目(2018GZ0497)

通讯作者: 刘国春, 硕士, 副教授, 主要研究方向为飞行器结构设计与分析及复合材料结构设计与分析 E-mail: liuguochun@cafuc.edu.cn

收稿日期: 2019-09-16

引用格式: 刘国春, 赵平, 魏桂明, 等. 胶接修理方式对复合材料层合板拉伸性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(11): 47-53.

Liu Guochun, Zhao Ping, Wei Guiming, et al. Effects of bonding repair methods on tensile properties of composite panels[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11): 47-53.

种。一般认为挖补胶接修理具有恢复强度大、不影响修理表面气动外形等优点,在复合材料结构的修理中得到广泛应用。而贴补修理具有工艺简单、可设计性强等优点,尤其适用于板厚度较小且气动要求不高的结构。

近年来,国内外研究人员对复合材料结构的挖补和贴补修理进行了大量的研究。针对挖补修理,汪源龙等^[1]研究了拉伸载荷下挖补修理复合材料层合板的损伤扩展及其最终破坏规律,并讨论了挖补角对修理结构拉伸性能的影响,认为在该研究样本下的最优挖补角度为 4° 。郭霞等^[2]研究了含穿透损伤双面挖补修理层压板的拉伸性能,发现双面挖补的强度恢复率最高能达到80%,并研究了该工况下的最佳挖补斜度与附加铺层。F. H. Darwish等^[3]对通过挖补修理的复合材料壁板进行了力学性能测试,挖补修理后结构的强度恢复率能达到95%,并得出最优的挖补角度为 2.5° 。程小全等^[4]应用有限元模型对挖补修理复合材料层合板的拉伸破坏行为进行了研究,并通过试验发现,应选择具有一定破坏应变且弹性模量较大的粘胶剂进行挖补修理。谢宗蕙等^[5-6]研究了复合材料层合板斜切挖补修理结构的力学性能,发现失效模式可概括成四种模式,与维修角度、铺层直接相关,并设计了一款复合材料层合板挖补修理软件,便于快速地进行复合材料层合板挖补维修设计。

针对贴补修理,Liu Xi等^[7]通过建立复合材料层合板折减退化分析模型,研究了三种贴补修理复合材料层合板的拉伸破坏模式,并能准确预测高应力区域。郭凯特等^[8]建立了复合材料双面贴补修理理论解析模型,发现贴补极限载荷随搭接长度变化存在多种模式的尺寸效应。叶正浩等^[9]针对单面贴补修理进行了渐进损伤模型和试验验证,讨论了不同补片尺寸参数下的贴补结构的失效模式,并研究了补片直径、厚度等参数变化对贴补修理结构强度恢复率的影响。苗学周等^[10]和M. Kashfuddoja等^[11]针对贴补修理建立了三维渐进损伤模型,研究了补片形状和尺寸对胶接修补效率的影响,发现菱形补片的修理效果最好,而且补片大小为损伤孔的2.5倍时修理效果最佳。相超等^[12]建立了贴补复合材料层合板的渐进损伤三维分析模型,分析了修补结构的损伤演化过程,发现存在补片与胶层两种破坏模式,并讨论了补片参数对修补结构力学性能的影响。Ali Al-Mansour等^[13]研究了

复合材料层合板单面贴补的拉伸力学性能试验,测量了层合板的整体应变分布、结构中心点的离面位移及拉伸强度等关键力学性能指标,进而通过指标描述了贴补结构的修补效果。

目前针对挖补修理和贴补修理两种常见胶接修理方式的研究方法主要是进行独立研究,一般针对其中一种修理方式,考察不同修理参数的影响。针对同一损伤情况下,采用不同方式修理分析损伤结构力学性能的研究较少。笔者针对含典型圆形穿透损伤的复合材料层合板,分别采用贴补和挖补两种方式进行修理,并对修理后结构的力学性能进行试验验证,确定在拉伸载荷作用下,修理结构的强度恢复率、失效模式和破坏过程等,为合理评价和选择修理方式提供指导性依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

碳纤维增强环氧树脂基平纹布预浸料:T300 / CYCOM 970,美国Cytec公司。

1.2 主要仪器与设备

电液伺服材料试验机:Instron8801-4型,美国Instron公司。

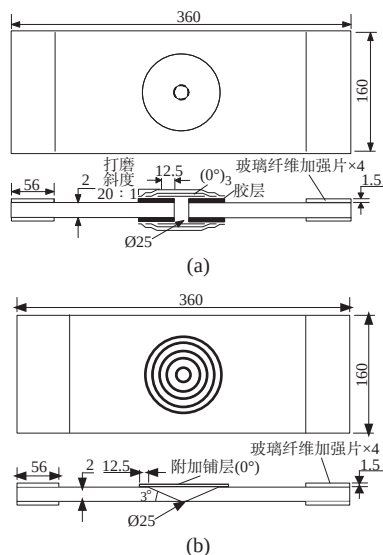
1.3 样品制备

针对典型含圆形穿透损伤的复合材料层合板,分别设计了贴补和挖补修理试验件。同时作为对比,设计了含圆形穿透损伤的未修理结构和完好结构的拉伸强度试验件。

试验件型式和几何尺寸见图1,试验方案如表1所示。完好结构、含圆形穿透损伤未修理试验件与修理试验件的外形尺寸均相同。含圆形穿透损伤未修理试验件的开孔在试验件的中心位置,通孔直径为25 mm。

贴补修理试验件在穿透损伤试验件的基础上采用双面三层补片搭接铺设,每层搭接长度为12.5 mm,为减小补片层截止端的应力集中,对补片进行楔形打磨^[14],打磨斜度为20:1,贴补效果如图1a所示。挖补修理试验件的最底层补片与通孔尺寸相同,挖补角度为 3° ,最外层设置1层附加层,附加层搭接长度为12.5 mm,挖补效果如图1b所示。贴补和挖补试验件都在两端粘贴了玻璃纤维加强片便于夹持。

试验件的母板和补片材料选用T300 / CYCOM 970碳纤维增强环氧树脂基平纹布预浸料,单层厚度为0.25 mm。母体铺层顺序为 $(0^{\circ} / 45^{\circ})_{2S}$ 。挖



a—贴补修理试验件; b—挖补修理试验件
图 1 复合材料层合板修理试验件几何尺寸

表 1 复合材料层合板拉伸试验方案

试验件编号	试验件形式	补片铺层顺序	数量 / 件
6-3-1	完好	—	1
6-3-4	含圆形穿透损伤未修理	—	1
6-4-1	贴补修理	(0°) ₃	4
6-4-2			
6-4-3			
6-4-4			
6-5-1	挖补修理	(0°/45°) _{2s}	4
6-5-2			
6-5-3			
6-5-4			

补修理中补片铺层顺序和母板相同,附加层为 0° 铺层。贴补修理中补片的铺层顺序为 (0°)₃。选择与母体和补片固化温度相同的中温固化胶膜 METLBOND 1515-4M 作为胶粘剂,胶膜厚度为 0.125 mm。

复合材料母板在热压罐中固化成型,固化温度为 190℃。固化完成后根据修理方式将母板修理区域打磨成指定形状,然后铺上胶膜和裁剪好的预浸料,采用 Heatcon 热补仪对修理结构进行升温固化,固化温度为 180℃,保温时间 120 min。试验件修理完成后,进行质量检查,确保试验件表面和内部无明显缺陷。

1.4 性能测试

复合材料层合板拉伸试验装置如图 2 所示。

采用电液伺服材料试验机对试验件进行单向拉伸,加载过程为位移控制,加载速度为 2.5 mm/min。试验过程中观察试验件表面裂纹的萌生与扩展过程,试验完成后记录试验件的破坏模式。根据

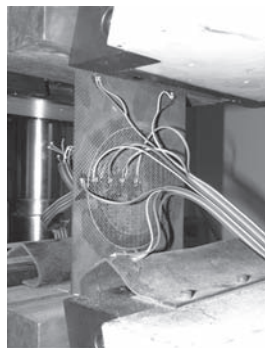


图 2 复合材料层合板拉伸性能试验装置

试验件的最大载荷计算修理结构的拉伸强度,即:

$$\sigma_R = \frac{P_{\max}}{w \times l_p} \times 100\% \quad (1)$$

式中: σ_R ——试验件修理后结构的拉伸强度;

$P_{\max}$ ——试验件的最大载荷;

w ——试验件的宽度;

l_p ——试验件母体的名义厚度。

定义拉伸强度恢复率为修理后结构与未损伤结构的拉伸强度之比,即:

$$\eta = \frac{\sigma_R}{\sigma_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: η ——试验件拉伸强度恢复率;

σ_0 ——试验件完好结构的拉伸强度。

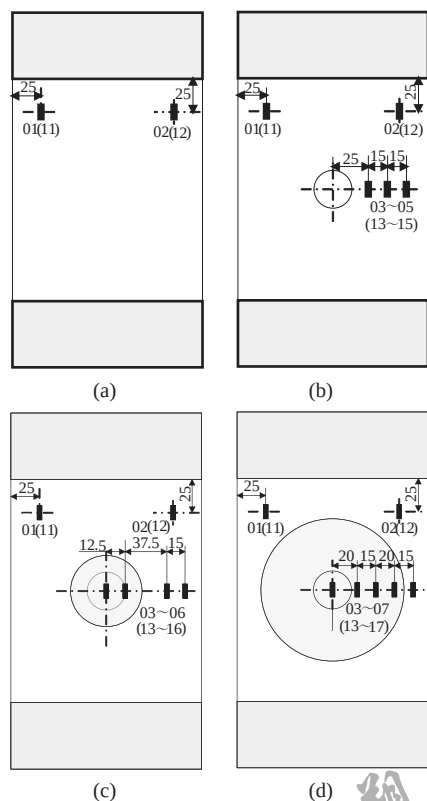
为监控试验过程中加载的对称性,在靠近试验件端部区域的端部区域左、右两侧的正、背两面都粘贴了应变片,应变片粘贴位置如图 3 所示,其中括号内为试验件背面的应变片编号 (11,12,13,14,15,16,17),括号外为正面的应变片编号 (01,02,03,04,05,16,17)。除此之外,在孔边、修理区等位置沿试验件宽度方向也布置了应变片,以监测在结构加载过程中修理可能出现的胶膜脱粘现象。加载过程中,若胶膜出现脱粘,会引起载荷的再分配,进而影响试验件表面的应变分布。

加载过程分预加载和二次加载两步进行。预加载过程通过对比远场应变的对称性,评价加载过程是否满足对中性要求,预加载的载荷上限为预估破坏载荷的 30%。预加载试验结束后,观察应变分布情况,若不满足要求,则进行适当调整;若满足,则进行二次加载,直至试验件发生最终破坏。

2 结果与讨论

2.1 失效模式

修理后复合材料层合板试验件典型破坏模式如图 4 所示。



a—完好试验件; b—含圆形穿透损伤未修理试验件;

c—贴补修理试验件; d—挖补修理试验件

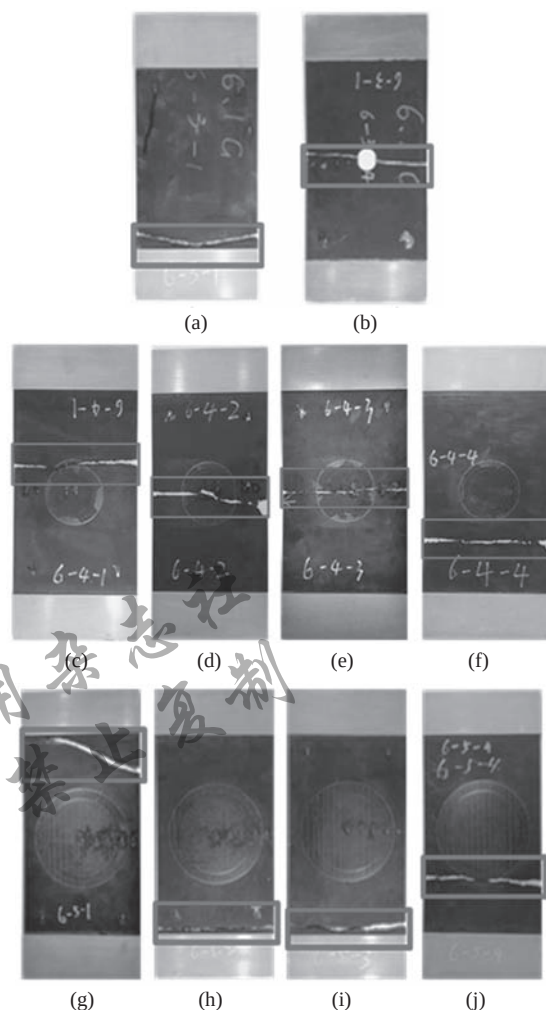
图3 试验件表面应变片粘贴方式

由图 4a 和图 4b 可以看出,完好板和含圆形穿透损伤未修理试验件的失效模式均为沿试验件宽度方向的横向断裂,完好板的破坏位置靠近加强片的根部,含圆形穿透损伤未修理试验件的破坏位置为通孔所在横截面。

由图 4c~图 4f 可以看出,贴补修理试验件的破坏模式有两种:一种是沿修补区域的横向断裂,另一种是沿非损伤区域的横向断裂。

由图 4g~图 4j 可以看出,挖补修理试验件的破坏在非修理区。此外观察发现,挖补修理的试验件(6-5-1)出现加强片脱粘的现象,在加强片脱粘后,导致结构加载出现偏心,使得试验件的测量值低于其真实值。

对比贴补修理试验件和挖补修理试验件的破坏模式可以看出,贴补修理试验件有 50% 的破坏模式为沿修理孔所在区域的横向断裂,而挖补修理试验件则均为非维修区母板的横向断裂失效。说明对于贴补修理,部分试验件维修区域的拉伸承载能力弱于母板,而挖补修理维修区域的拉伸承载能力则普遍高于母板。



a—完好试验件 6-3-1; b—含圆形穿透损伤未修理试验件 6-3-4;

c, d, e, f 分别为贴补修理试验件 6-4-1, 6-4-2, 6-4-3, 6-4-4;

g, h, i, j 分别为挖补修理试验件 6-5-1, 6-5-2, 6-5-3, 6-5-4

图4 拉伸载荷作用下试验件的破坏模式

2.2 拉伸强度

复合材料层合板试验件拉伸强度的测试结果列于表 2。

表2 复合材料层合板试验件测试结果

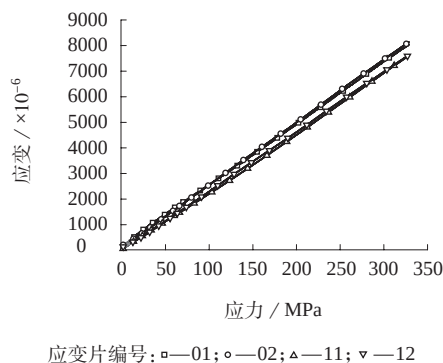
试件编号	试验件形式	拉伸强度 / MPa	平均拉伸强度 / MPa	平均拉伸强度恢复率 / %	离散系数 / %
6-3-1	完好	328.8	328.8	100	—
6-3-4	含圆形穿透损伤未修理	162.0	162.0	49.27	—
6-4-1	贴补修理	352.5	325.8	99.08	10.6
6-4-2		309.1			
6-4-3		277.5			
6-4-4		363.8			
6-5-1	挖补修理	287.8	347.1	105.56	3.1
6-5-2		351.3			
6-5-3		335.0			
6-5-4		355.0			

含圆形穿透损伤未修理试验件用于描述损伤对母板结构性能的影响,一般采用剩余强度进行定量描述。由表 2 可以看出,完好试验件的拉伸强度为 328.8 MPa。含圆形穿透损伤未修理试验件的拉伸强度降低到完好试验件的 49.27%,说明通孔损伤对试验件结构性能的影响较大。

由表 2 可知,当以完好试验件的拉伸强度 328.8 MPa 为参照时,贴补修理试验件的平均拉伸强度恢复率达到了 99.08%,挖补修理试验件的平均拉伸强度恢复率达到了 105.56%。修理后试验件结构的拉伸强度达到甚至超过完好试验件的拉伸强度,说明修理效果良好^[15]。但贴补修理试验件拉伸强度的离散系数较大,贴补修理试验件的破坏位置出现在非修理区的几率达到 50%,对应的拉伸强度较高,平均拉伸强度达 358.15 MPa,另外,有 50%的试验件出现在修理区,对应的平均强度值偏低,仅为 293.3 MPa,说明修理工艺的稳定性需要进一步提高。而挖补修理试验件的平均拉伸强度较贴补修理高 6.5%,结合挖补修理试验件的失效模式较贴补修理更一致的情况,说明挖补修理的效果要强于贴补修理。

2.3 应变分析

完好试验件在拉伸载荷作用下的远场应力-应变曲线如图 5 所示。

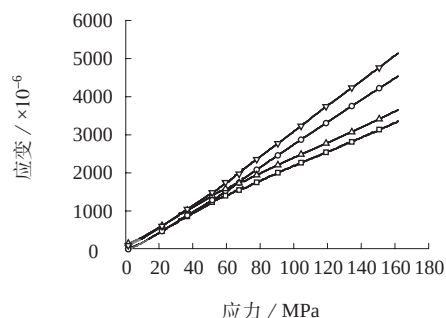


应变片编号: □—01; ○—02; ▲—11; ▼—12
图 5 完好试验件的远场应力-应变曲线

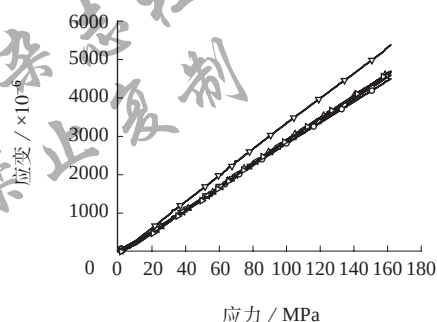
由图 5 可以看出,完好试验件正面左右两侧的应变片 01,02 的应变以及背面左右两侧的应变片 11,12 的应变一致性较好,说明沿试验件宽度方向,载荷施加较为均匀。该结论也可从图 4a 完好试验件的失效模式得到印证,在图 4a 中,完好试验件的破坏模式呈左右对称的形式。图 5 中正面的应变片 01,02 的应变比背面的应变片 11,12 的应变高 11% 左右。说明加载过程中试验件存在弯曲效应,使得正面应变偏大,从而使得试验中完好试验件的拉伸

强度测量值低于其真实值。因此,当以该值作为母体拉伸强度值计算强度恢复率时,会出现恢复率超过 100% 的现象。

含圆形穿透损伤未修理试验件拉伸试验中的应力-应变曲线如图 6 所示。



应变片编号: □—01; ○—02; ▲—11; ▼—12
(a)



应变片编号: □—03; ○—04; ▲—05; ▼—13; ◆—14; ◆—15
(b)

a—远场应力-应变曲线;b—损伤附近区域应力-应变曲线

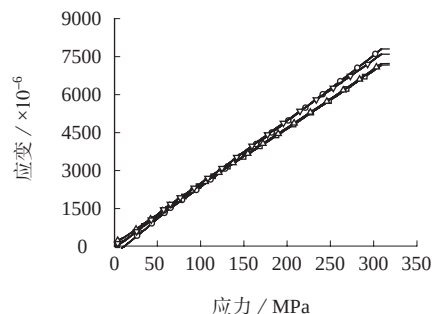
图 6 含圆形穿透损伤未修理试验件的应力-应变曲线

由图 6a 可以看出,在应力低于约 65 MPa 时,试验件正、背面和左、右侧的远场应变分布一致性均较好,但在应力达到 65 MPa 时,试验件右侧的应变片 02,12 的应变增长速度要高于左侧的 01,11 的应变,但试验过程中未观察到明显的破坏。产生该现象的原因主要是在加载过程中出现了偏心载荷,该偏心载荷对试验结果会产生一定的影响。

由图 6b 可以看出,应变片 13 的应变值最大,说明试验件损伤中心区域出现应力集中,此外其它应变值较为均匀,说明加载状态正常。

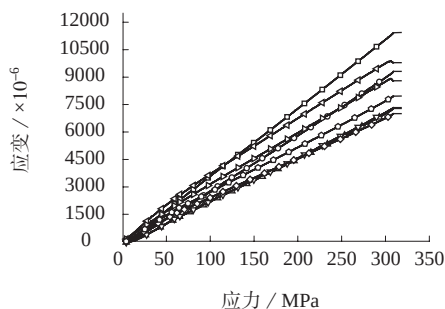
由于 4 个贴补试验件的应变趋势较为相似,以拉伸强度与平均值最接近的贴补修理试验件 6-4-1 作为典型贴补修理试件,其应力-应变曲线如图 7 所示。

根据图 7a 中应变片 01,02,11,12 的应变值可以推断,试验过程中载荷对中性较好,试验件端面载荷施加较为均匀,与试验观察到的破坏模式一致。



应变片编号: ▽—01; ○—02; △—11; □—12

(a)

应变片编号: □—03; ▽—04; △—05; ▽—06;
◁—13; ○—14; ◇—15; ○—16

(b)

a—远场应力-应变曲线; b—修理区域应力-应变曲线

图7 贴补修理试验件的应力-应变曲线

从图7b可以看到,试验件正、背面应变的对称性较好,应变在修理区域的中心位置(应变片03,13)最大,往试验件两侧逐渐减小(应变片04,05,14,15)。修理区域中心是试验中补片失效容易发生的位置。

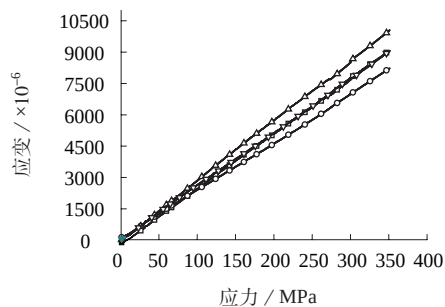
同理,将试验件6-5-2作为典型挖补修理试验件,其应力-应变曲线如图8所示。

从图8a可以看到,试验件左侧应变片的应变较右侧高9.5%左右,加载时试验件左右两侧存在一定程度的偏心。

从图7与图8中修理试验件的应力-修理区域应变曲线可以看到,直到破坏,所有试验件的应力-应变曲线均保持较好的线性,破坏之前未见应变片的应变数据突变,试验件的破坏是突发式的。由于胶膜脱粘往往引起载荷的再分配,进而导致试验件表面应变片的应变数据突变,因此,由以上应变变化规律可以反推出加载过程中未出现胶膜的脱粘失效。

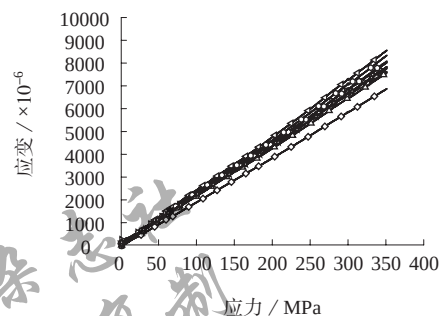
3 结论

通过试验测得了完好、含圆形穿透损伤未修理、贴补修理以及挖补修理试验件的拉伸强度,并获得了各类试验件的破坏模式和表面应变分布,研究发现:



应变片编号: □—01; ○—02; △—11; ▽—12

(a)

应变片编号: △—03; ▽—04; ○—05; ○—06;
◁—07; ★—13; ◇—14; □—15; ○—16; ▽—17

(b)

a—远场应力-应变曲线; b—修理区域应力-应变曲线

图8 挖补修理试验件应力-应变曲线

(1) 以完好试验件的拉伸强度为基准,含圆形穿透损伤未修理试验件的剩余强度仅能达到完好试验件的49.27%,修理后试验件的拉伸强度恢复率能达到100%左右。

(2) 挖补修理试验件的破坏模式均为未损伤区的拉伸破坏,而贴补修理有50%的试验件的破坏位置出现在损伤区,说明挖补修理试验件修理区域的拉伸强度高于未损伤区域,而贴补修理试验件的修理区域的拉伸强度存在一定的离散性。

(3) 从修理试件的破坏模式和拉伸强度恢复率的角度来看,挖补修理试验件的拉伸强度优于贴补修理试验件。

(4) 采用应变片测量了试验件局部应力-应变曲线,结果显示,直至破坏,应力-应变曲线均保持较好的线性,试验中未观察到胶膜的脱粘现象。根据应变片的应变数据对宏观破坏模式及修理结构的拉伸强度进行了解释。

参考文献

- [1] 汪源龙,程小全,侯卫国,等.挖补修理复合材料层合板拉伸性能研究[J].工程力学,2012,29(7):328-352.
Wang Yuanlong, Cheng Xiaoquan, Hou Weiguo, et al. Study on tensile performance of scarf repaired composite laminate[J]. Engi-

- neering Mechanics, 2012, 29(7):328-352.
- [2] 郭霞,关志东,刘遂,等.层压板双面挖补修理的拉伸性能研究及参数分析[J].复合材料学报,2012,29(1):176-182.
Guo Xia, Guan Zhidong, Liu Sui, et al. Tensile behavior and parameters designing of double-sides flush repair of composite laminates[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2012, 29(1):176-182.
 - [3] Darwish F H, Shivakumar K N. Experimental and analytical modeling of scarf repaired composite panels[J]. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 2014, 21:207-212.
 - [4] 程小全,赵文漪,高宇剑,等.胶黏剂性能对挖补修理层合板拉伸性能的影响[J].北京航空航天大学学报,2013,39(9):1 144-1 149, 1 162.
Cheng Xiaoquan, Zhao Wenyi, Gao Yujian, et al. Influence of adhesive properties on tensile behavior of scarf repaired laminates[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2013, 39(9):1 144-1 149, 1 162.
 - [5] 谢宗蕪,王绥安,李想.复合材料织物层合板挖补修理软件实现与试验验证[J].复合材料学报,2017,34(7):1 451-1 461.
Xie Zonghong, Wang Suian, Li Xiang. Composite fabric laminate scarf repair analysis: Software development and experimental validation[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2017, 34(7):1 451-1 461.
 - [6] 王绥安,谢宗蕪,李想.复合材料层合板斜切型挖补修理试验[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(5):56-61.
Wang Suian, Xie Zonghong, Li Xiang. Experimental study of composite laminate adhesively tapered-scarf repair[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49(5):56-61.
 - [7] Liu Xi, Wang Guoping. Progressive failure analysis of bonded composite repairs[J]. Composite Structures, 2007, 81(3):331-340.
 - [8] 郭凯特,谢宗蕪,李想,等.复合材料双面贴补修理拉伸解析分析模型及试验验证[J].复合材料学报,2017,34(10):2 194-2 204.
Guo Kaite, Xie Zonghong, Li Xiang, et al. An analytical model and its validation for a composite double lap joints under uni-directional tension. Acta Materiae Compositae Sinica, 2017, 34(10):2 194-2 204.
 - [9] 叶正浩,周丽,宋恩鹏,等.贴补复合材料层合板的分析及参数影响[J].功能材料,2014,45(13):13 116-13 121.
Ye Zhenghao, Zhou Li, Song Enpeng, et al. Failure mode analysis and parameter influence of bonded repaired composite laminate[J]. Journal of Functional Materials, 2005, 22(3):140-144.
 - [10] 苗学周,李成,铁瑛,等.补片形状和尺寸对复合材料胶接修补的影响[J].机械工程学报,2014,50(20):63-69.
Miao Xuezhou, Li Cheng, Tie Ying, et al. Influence of patch shape and size on adhesively bonded composite repair[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(20):63-69.
 - [11] Kashfuddoja M, Ramji M. Design of optimum patch shape and size for bonded scarf on damaged carbon fibre reinforced polymer panels[J]. Materials and Design, 2014, 54:174-183.
 - [12] 相超,周丽,宋恩鹏,等.拉伸载荷下贴补复合材料层合板的渐进损伤分析[J].工程力学,2014,31(10):234-241.
Xiang Chao, Zhou Li, Song Enpeng, et al. Progressive damage analysis of bonding patch-repaired composite laminates under tension loading[J]. Engineering Mechanics, 2014, 31(10):234-241.
 - [13] 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.
Ali Al-Mansour, Cheng Xiaoquan, Kou Changhe. Tensile behavior of composite laminates with one-side bonded repair[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2005, 22(3):140-144.
 - [14] Ahn S H, Springer G S. Repair of composite laminates-I: test results[J]. Journal of Composite Materials, 1998, 32(11): 1 036-1 074.
 - [15] 中国航空研究院.复合材料结构设计手册[M].北京:航空工业出版社,2001.
Chinese Aeronautical Establishment. Handbook of composite structure design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2001.

中广核俊尔粤海产业园年产 2 万 t 改性高分子材料项目签约仪式顺利举行

10月9日下午,中广核俊尔新材料有限公司与粤海置业投资(国际)有限公司在东莞市隆重举行《年产2万吨改性高分子材料项目》签约仪式。会上,粤海置业副董事长曾海鹏对中广核俊尔公司落户粤海产业园表示热烈欢迎,并表示将全力做好企业入园后续服务。中广核技党委委员、副总经理王西坡表示,双方已经签署战略合作框架协议,俊尔公司入驻粤海产业园是全面落实双方战略合作的重要举措,项目选址粤海产业园是双方共赢的选择,对俊尔公司辐射华南地区市场具有重大意义。该项目也是俊尔公司落实“1566”发展战略计划的一部分,粤海产业园生产基地的建设填补了俊尔公司在华南地区布局的空白,建成后可以深度辐射广汽集团、一汽大众华南基地、比亚迪等整车市场。(慧聪塑料网)

天业集团煤基乙二醇催化剂再获国家发明专利授权

近期,由天业集团煤基乙二醇催化剂团队申报的发明专

利“一种用于CO气相偶联合成草酸酯的填充复合结构催化剂的制备方法及其应用”获得国家知识产权局授权,这是天业集团在乙二醇催化剂领域获得的第二项授权发明专利。目前,天业集团在乙二醇催化剂领域共申请发明专利5项,已获授权2项,取得了可喜的科技创新成果。

与现有技术相比,该专利报道的催化剂采用独特的填充复合结构,在CO气相偶联合成草酸二甲酯反应中表现出优异的催化性能,并具有贵金属Pd含量低、利用率高和催化剂成本低的优点。

乙二醇催化剂项目在天业集团创新平台的支撑下,攻克了多项技术难关,掌握了完备的催化剂核心技术。项目成果曾获第二届兵团青年创业创新大赛金奖和2017火炬杯八师石河子创新创业大赛一等奖的好成绩。后续,项目团队将着力推进催化剂的产业化,进一步提升企业的利润空间和竞争力,并继续深入开展技术研发,巩固和扩大知识产权成果,为企业发展提供强大的科技支撑。(慧聪塑料网)