

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.06.018

冲击能量对 EW200 / E51 复合材料层合板损伤的影响

卫新亮,张智敏,刘毅,温伟,李稳,任广银

(陆军航空兵学院,北京 101123)

摘要:为研究复合材料构件在遭受冲击过程中的损伤形态,采用真空辅助模压工艺制备了玻璃纤维平纹布(EW200)增强环氧树脂(E51)复合材料层合板,分析了冲击能量变化对EW200/E51复合材料层合板的冲击响应及损伤形态的影响规律。实验结果表明:对于EW200/E51复合材料层合板体系,不同冲击能量下的响应曲线呈现出类似的趋势,随着冲击能量的增加,损伤深度和面积都迅速扩展,同时复合材料层合板存在可使其损伤急剧扩展的能量阈值,在15 J的冲击能量下发生了贯穿性破坏,层合板失去承载力。

关键词:玻璃纤维;冲击能量;层合板;损伤

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)06-0099-04

Effect of Impact Energy on Damage of Ew200 / E51 Composite Laminate

Wei Xinliang, Zhang Zhimin, Liu Yi, Wen Wei, Li Wen, Ren Guangyin

(Army aviation institute, Beijing 101123, China)

Abstract : In order to study the damage morphology of composite components under impact behavior, the glass fiber plain weave (EW200) reinforced epoxy resin (E51) composite laminate was prepared by the using of vacuum assisted molding process. The impact response and damage patterns on the glass fiber plain weave reinforced resin composite laminate were analyzed, which were carried on the impact energy changes. The experimental results show that the response curves under different impact energies show a similar trend in the EW200 / E51 composite laminate system. As the impact energy increases, the damage depth and area expand rapidly. At the same time, there's an energy threshold of the damage's sharp expansion in the composite laminates, and a penetrating destruction occurs under the impact energy of 15 J, and the bearing capacity of the laminate is lost.

Keywords : glass fiber ; impact energy ; laminate ; damage

玻璃纤维增强树脂基复合材料具有质量轻、比强度高、比模量高、易于加工成形、耐腐蚀、低成本等诸多优点,在航空航天、船舶、电子等领域得到了广泛应用^[1]。该类复合材料构件在制造、安装和使用过程中,外壳时常会遭受各种类型的冲击,造成的损伤直接影响结构完整性^[2-3]。由于复合材料层合板的结构特殊性,其在宏观上呈各向异性,微观上表现为各向非均质性,因此其损伤模式与各向同性材料完全不同^[4]。

玻璃纤维增强树脂基复合材料构件在使用过程中的损伤产生是无规则的,因冲击而诱发损伤的

问题被越来越多的复合材料工作者重视。在低速冲击过程中,因冲击能量的差异,会产生不同的破坏形式,如基体开裂、纤维断裂和分层等现象。关于复合材料层合板的损伤机理,前人做了大量的研究。随着冲击能量的增加,层合板的外观损伤状态也不同,可分为无损伤状态、目视不可见状态、目视可见损伤状态、穿透损伤状态等形态。丁明聪等^[5]等通过实验建立了单向层合板和多向层合板的冲击点凹坑深度与冲击能量的关系。崔海坡等^[6]通过研究 T300 / BMP-316 复合材料层合板的冲击损伤,发现复合材料层合板存在可使其剩余强度急剧下降的冲击能

基金项目: 军内科研项目 (2018-635), 陆军航空兵学院教研课题 (JG2029B)

通讯作者: 卫新亮, 博士, 工程师, 主要从事直升机检修和复合材料损伤修理方面的研究 E-mail : Weixinliang1982@126.com

收稿日期: 2020-04-07

引用格式: 卫新亮, 张智敏, 刘毅, 等. 冲击能量对 EW200 / E51 复合材料层合板损伤的影响 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6):99-102.

Wei Xinliang, Zhang Zhimin, Liu Yi, et al. Effect of impact energy on the damage of EW200 / E51 composite laminate[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6):99-102.

量门槛值,同时不同铺层参数对层合板冲击后凹坑深度有显著的影响。R. C. Batra 等^[7]采用数值模拟的方法分析了纤维增强树脂层合板结构在低速冲击下的损伤开始、损伤拓展和失效过程的层合板损伤变化。沈真等^[8]通过实验研究发现复合材料层合板的冲击凹坑深度随冲击能量增加,但在达到拐点值后的冲击部位出现纤维断裂。以往研究更多关注了复合材料层合板的内部损伤及其扩展过程,但实际应用中的很多情况是外部载荷明显超过层合板的承载力,导致受到的冲击损伤已经难以进行定性、定量的描述。

为更好地促进玻璃纤维布增强环氧树脂复合材料层合板的工程应用,笔者通过分析不同冲击能量与损伤形态的关系,完成对纤维增强复合材料层合板低速冲击过程的损伤评价,为该类复合材料的制造、应用和修复工作提供参考。

1 实验部分

1.1 主要材料

平纹玻璃纤维布:EW200,广东音谷建材有限公司;

环氧 E51 树脂胶、W93 固化剂:昆山久力美电子材料有限公司;

玻璃纤维:选择常用的 E 系列无碱玻璃纤维布作为增强体,该种玻璃纤维布具有碱含量低、吸湿低、与树脂粘结性良好等优点。

环氧树脂是目前航空领域应用最广的树脂体系,选择 E51 树脂胶和 W93 固化剂,二者的质量混合比例为 100 : 30。

1.2 主要设备及仪器

落锤试验机:9250HV 型,美国 Instron 公司。

1.3 EW200/E51 复合材料的制备方法

采用真空辅助模压工艺制备复合材料,其原理是将单层玻璃纤维平纹布裁剪后刷涂环氧树脂胶,按需铺叠成坯料,进行真空袋式密封,再放入模具中,在真空状态和外加压力下完成固化的过程。在这一过程中可确保玻璃纤维布被压实,同时既能保证最大限度的排出空气和挥发物,又可以减少构件中的气泡。

具体步骤如下:先将 EW200 玻璃纤维布剪裁成长宽为 310 mm×310 mm 的方片备用;然后把 E51 环氧树脂和 W93 固化剂按照质量比 100 : 30 配成固化混合溶液,搅拌 5 min,将配制好的固化混合溶液均匀涂抹在玻璃纤维布上,然后把涂抹过固

化混合溶液的玻璃纤维布铺层依次叠放至 10 层并进行真空袋式密封,留出抽真空接口;最后将密封后的玻璃纤维布放置在模具中,一边抽真空一边进行机械加压,保持 12 h,固化完成后去除多余辅助材料得到玻璃纤维布增强环氧树脂的复合材料层合板,工艺过程如图 1 所示。

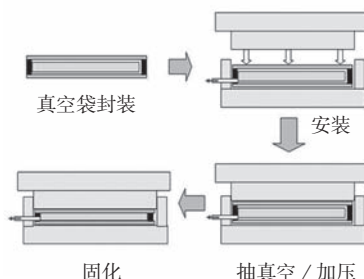


图 1 真空辅助模压工艺过程

1.4 测试与表征

测试参考 ASTM D 7136-2007,将 EW200/E51 复合材料板加工成 150 mm×100 mm×2 mm 试样,用落锤试验机进行测试,通过调节冲击高度来设置不同能量冲击值对复合材料层合板进行冲击。实验采用钢制冲击头,直径 16 mm,冲头沿导轨进行自由落体,利用重力产生撞击速度冲击试件。为探究 EW200/E51 复合材料层合板的冲击损伤特征,设置了 9,11,13,15 J 四种冲击能量值。

2 结果与讨论

2.1 不同冲击能量下的层合板响应分析

复合材料层合板的瞬时冲击响应主要包括载荷、能量关于时间的响应。落锤试验机连接的计算机可直接记录冲击实验过程中各冲击参数之间的关系曲线,所有的试样均为一次冲击。不同冲击能量下的 EW200/E51 复合材料层合板载荷-时间响应曲线如图 2 所示。

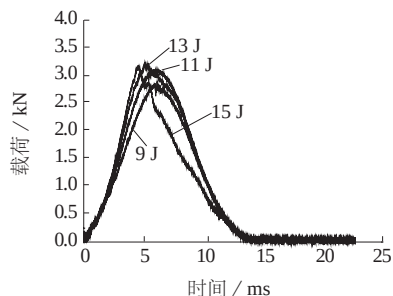


图 2 不同冲击能量下的冲击载荷-时间曲线

从图 2 可以看出,不同冲击能量下的响应曲线呈现出同一趋势,冲击载荷初始阶段以平稳上升为主,冲击载荷达到最大后出现波动,然后迅速下降为

一条平直线。层合板损伤的产生和扩展使得材料的刚度发生变化,从而导致应力下降且伴随波动,这是因为平纹布织物结构中的玻璃纤维束之间相互垂直分布,经纬向的纤维之间交织,当冲击头与试样接触时,冲击点周围各个方向的玻璃纤维都会参与受力,呈现出较好的抗冲击能力^[9-11]。

冲击能量衰减-时间变化曲线如图3所示。

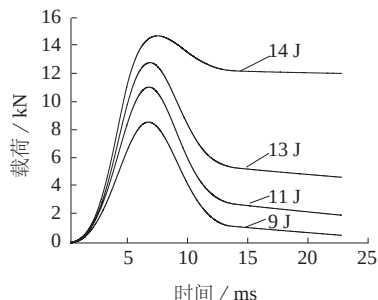


图3 不同冲击能量下的能量衰减-时间曲线

当冲击能量小于13 J时,曲线呈现出类似的形态,能量吸收保持了相同的趋势,能量吸收值稳定在8 J附近。在15 J冲击能量时,能量吸收效果有限,吸收值仅有3 J,这是因为较大的冲击力直接造成试件破坏,层合板因严重损伤而失去承载能力^[12]。上述情况说明,对于EW200 / E51复合材料层合板体系,存在着一个抗冲击损伤的阈值。

2.2 冲击能量对正面损伤面积的影响

玻璃纤维增强复合材料层合板在承受低速冲击载荷时,主要有基体裂纹、层间分层和纤维断裂三种损伤形式^[13]。冲击实验后,试件表面出现了不同程度的损伤区域,树脂基体产生了明显的白色裂纹。不同冲击能量对应的正面损伤区域如图4所示。

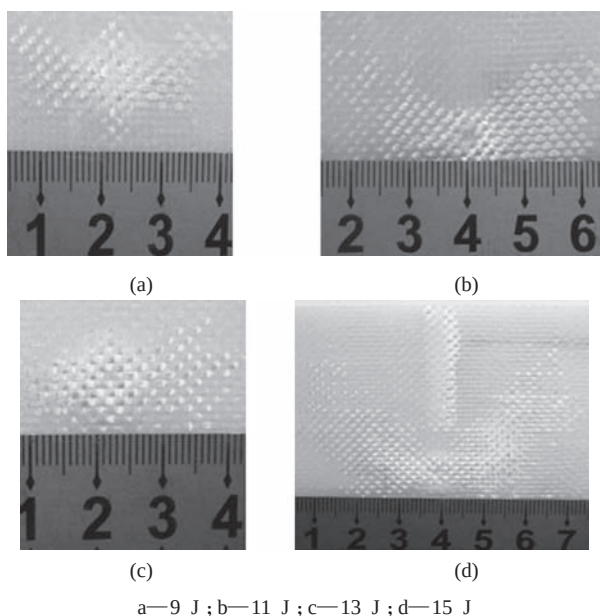


图4 不同冲击能量的正面损伤区域

随着冲击能量的增加,冲击点正面的损伤区域逐步变大,从35 mm宽度直接扩大到贯穿性裂纹。在7~13 J的冲击能量下,试件表面发生了明显的纤维脱粘,但分层现象不明显且凹陷变形量小,展现了良好的抗冲击载荷能力和整体承载效果,这是因为平纹布的编织结构以纤维束的经纬向交叉为主分布,各个方向的纤维在冲击过程中均承受载荷^[14-15]。在15 J时,损伤区域发生了剧烈变化,边界区域出现了贯穿性裂纹损伤。

2.3 冲击能量对背面冲击损伤的影响

不同冲击能量下的层合板背面损伤如图5所示。

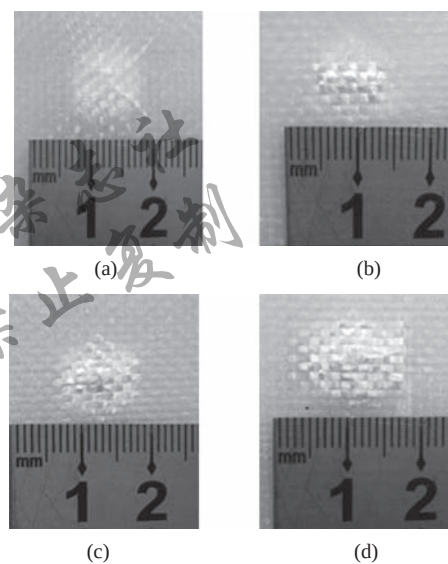


图5 不同冲击能量的背面损伤区域

冲击的背面损伤均表现为集中在冲击中心区域,损伤面积相对较小,同时发生了部分玻璃纤维断裂。在9 J的冲击能量下,试件表面发生树脂裂纹,冲击背面产生不明显的凸起,以分层损伤和树脂基体的裂纹为主,没有大面积损伤。冲击能量在11 J以上时,凸起的程度逐渐明显,冲击损伤区域面积逐步增大,呈现出沿厚度方向的玻璃纤维断裂和树脂开裂,并产生了粉末状的树脂碎渣^[16]。

对采用真空辅助模压制备的EW200 / E51复合材料层合板,冲击实验造成的损伤明显,树脂基体损伤是最早出现的损伤形式,以树脂开裂和分层为主,玻璃纤维的损伤以断裂为主,有部分的层间分离。

3 结论

(1) 不同冲击能量下的EW200 / E51冲击载荷-位移曲线显示,该类复合材料的冲击响应呈现出

明显的冲击载荷急剧变化至最大值、载荷-时间非线性区、载荷回降等三个阶段,且保持了相同的趋势。

(2) 在 9~13 J 的冲击能量下,冲击损伤区域形状均为椭圆形。随着冲击能量的增加,正面的损伤面积和背面的凸起程度均呈现上升,冲击能量为 15 J 时,发生了贯穿性裂纹损伤。

参考文献

- [1] 廖子龙,乌云其格. 环氧树脂/玻璃纤维复合材料性能研究与应用[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(9):47-50.
Liao Zilong, Wuyun Qiqige. Property and application of epoxy resin / glass fiber composites[J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(9):47-50.
- [2] Balaganesan G, Chandra K V. Energy absorption of repaired composite laminates subjected to impact loading[J]. Composites Part B: Engineering, 2016(98):39-48.
- [3] 周杰,李代文,杨国刚,等. 连续玻璃纤维增强聚丙烯复合板材的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(10):24-29.
Zhou Jie, Li Daiwen, Yang Guogang, et al. Preparation and performance of continuous glass fiber reinforced polypropylene composite laminated plate[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(10):24-29.
- [4] Mouram, Marques A T. Prediction of low velocity impact damage in carbon-epoxy laminates [J]. Composites: Part A, 1999(33):361-368.
- [5] 丁明聪,李地红,侯云芬,等. 玻璃纤维/环氧层合板低冲击能量与凹坑深度量化研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(6):57-63.
Ding Mingcong, Li Dihong, Hou Yunfen et al. Relationship between low impact energy and the depth of glass fiber reinforced epoxy composites laminated plates[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2017(6):57-63.
- [6] 崔海波,温卫东,张阿龙. 不同冲击能量对层合板损伤及剩余强度的影响[J]. 航空动力学报, 2015, 30(10):2 331-2 337.
Cui Haipo, Wen Weidong, Zhang Along. Influence of different impact energies on damage and residual strength of laminates[J]. Journal of Aerospace Power, 2015, 30(10):2 331-2 337.
- [7] Batra R C, Gopinath G, Zheng J Q, et al. Damage and failure in low impact of fiber-reinforced polymeric composite laminates [J]. Composite Structures, 2012, 94:540-547.
- [8] 沈真,杨胜春,陈普会. 复合材料层压板抗冲击行为及表征方法的实验研究[J]. 复合材料学报, 2008, 25(5):125-133.
Shen Zhen, Yang Shengchun, Chen Puhui. Experimental study on the behavior and characterization methods of composite laminates to withstand impact[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(5):125-133.
- [9] 王英男,潘利剑,刘国峰. 复合材料湿法模压成型工艺参数研究[J]. 航空制造技术, 2018, 61(14):56-60.
Wang Yingnan, Pan Lijian, Liu Guofeng. Parameters of composites wet compression molding[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(14):56-60.
- [10] Marino Quaresimin, Mauro Ricotta, Livio Martello. Energy absorption in composite laminates under impact loading[J]. Composites: Part B, 2013, 44:133-140.
- [11] 李庚,邢素丽,彭超义,等. 拉挤-真空导入成型聚氨酯/玻璃纤维复合材料及其力学性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(10):103-106.
Li Geng, Xing Suli, Peng Chaoyi et al. Mechanical properties of polyurethane / glass fiber composites prepared by pultrusion-vacuum infusion[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(10):103-106.
- [12] Andrew J J, Arumugam V, Saravanakumar K. Compression after impact strength of repaired GFRP composite laminates under repeated impact loading[J]. Composite Structures, 2015, 133:911-920.
- [13] Shen Yiqu, Jiang Bing, Li Yan, et al. Low velocity impact response and energy absorption behavior on glass fiber reinforced epoxy composites[J]. Science China:Technological Sciences, 2017, 60(9):1 339-1 346.
- [14] 蔡奕霖,周仕刚. 玻璃纤维复合材料层合板冲击后的压缩强度[J]. 纤维复合材料, 2010(1):8-12.
Cai Yilin, Zhou Shigang. Compressive stress of composite laminates after impact[J]. Fiber Composites, 2010(1):8-12.
- [15] 屈天骄,郑锡涛,范献银,等. 复合材料层合板低速冲击损伤影响因素分析[J]. 航空材料学报, 2011, 31(6):81-86.
Qu Tianjiao, Zheng Xitao, Fan Xianyin et al. Exploration of several influence factors of low-velocity impact damage on composite laminates[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2011, 31(6):81-86.
- [16] Atas C, Akgun Y, Dagdelen O, et al. An experimental investigation on the low velocity impact response of composite plates repaired by VARIM and hand lay-up processes[J]. Composite Structures, 2011, 93(3):1 178-1 186.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费、版面费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿网址为 www.epa1973.net,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账号汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)