

泡沫铝-聚氨酯复合材料的厚度对其缓冲性能的影响

张峰¹, 刘亚青¹, 齐明思²

(1. 中北大学, 太原 030051; 2. 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

摘要: 采用泡沫铝填充量(体积分数)为 12.15% 的泡沫铝-聚氨酯复合材料, 在 7 800 g 的冲击加速度下, 建立了 3 种厚度分别为 6, 8, 12 mm 的泡沫铝-聚氨酯的缓冲模型, 用 Ansys 对各缓冲模型进行了应力分析, 得到了各模型的变形情况, 分析了不同厚度的缓冲模型的冲击吸振性能。结果表明: 在一定厚度范围内, 厚度越大, 泡沫铝-聚氨酯复合结构模型受到冲击时产生的最大应力越大, 最大变形量也越大。

关键词: 泡沫铝-聚氨酯; 复合材料; 厚度; 应力; 缓冲

中图分类号: TB333; TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)09-0024-03

Influence of Aluminum Foam-polyurethane Composite Thickness on Its Cushioning Performance

ZHANG Feng¹, LIU Ya-qing¹, QI Ming-si²

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aluminum foam-polyurethane composite with 12.15% filling volume of aluminum foam was used as sample. Cushioning models of three different thickness, 6 mm, 8 mm and 12 mm, were established under 7 800 g acceleration. Ansys software was applied for stress analysis of the models and distortion of the models was obtained. The cushioning performance of the models was analyzed. The results showed that the larger thickness, the higher max stress and distortion when the aluminum foam-polyurethane composite material model was impacted within a certain thickness.

Key words: aluminum foam-polyurethane; composite; thickness; stress; cushioning

泡沫铝材料具有较低的相对密度、较大的可调节孔径、较高的孔隙率, 其最普遍的用途之一是作为冲击防护的填充材料, 吸收冲击动能而不会产生超过被保护对象所能承受的最高应力。聚氨酯弹性体可在较宽的硬度范围具有较高的弹性及强度, 优异的耐磨性、耐油性、耐疲劳性及抗振性。将泡沫铝填充到开孔聚氨酯材料中可构成一种性能优良的抗冲击吸能结构, 其在军工业和抗冲击安全防护中具有广阔的应用前景^[1-4]。泡沫铝-聚氨酯复合结构是一种高效而经济的复合结构。通过 2 种不同材料增强成为同一种结构体, 复合结构体在保持单一材料优点的同

时, 其某些力学性能如抗冲击性能、疲劳特性与断裂性能, 都有着较大的改善, 在防弹装甲、工程防护、建筑加固等方面有着广泛的应用^[5]。泡沫铝-聚氨酯结构最主要的用途之一是作为吸能缓冲防护材料, 因此其动态力学特性、能量吸收机理以及其应变率效应成为近年来的研究热点之一^[3, 6-10]。泡沫铝-聚氨酯复合材料的厚度不同, 冲击时的变形和缓冲效果也不同。在满足使用条件的情况下, 厚度越小, 就越可以节约尺寸、空间和费用, 因此有必要对不同厚度的泡沫铝-聚氨酯复合材料的缓冲性能进行深入研究。

收稿日期: 2011-01-08

基金项目: 山西省研究生优秀创新资助项目(20093075); 中北大学青年基金资助项目

作者简介: 张峰(1980-), 女, 内蒙商都人, 硕士, 中北大学讲师, 主要从事化学工艺及材料教学与研究。

1 试验材料及其分析模型

研究对象为以聚氨酯为基体,以泡沫铝为增强体组合而成的泡沫铝-聚氨酯复合材料。建立了3种厚度分别为6,8,12 mm的泡沫铝-聚氨酯的缓冲模型,模型之一见图1。模型在 z 轴方向受到7 800 g的冲

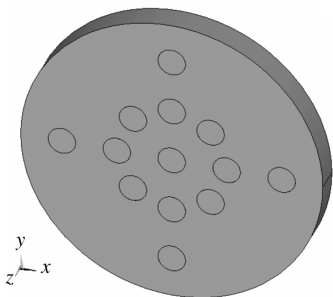


图1 泡沫铝-聚氨酯缓冲模型

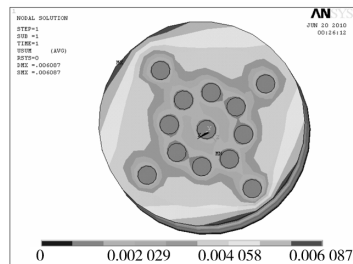
Fig. 1 Model of aluminum foam-polyurethane composite material

击加速度。选择聚氨酯参数如下: $E=17.67$ MPa,泊松比 $\mu=0.02$;泡沫铝的参数如下: $E=1.2$ GPa, $\mu=0.27$ 。填充泡沫铝的孔径都是10 mm,泡沫铝的体积百分数都是12.15%。选用solid9520节点六面体网格,载荷为7 800 g,用Ansys对其进行应力分析。

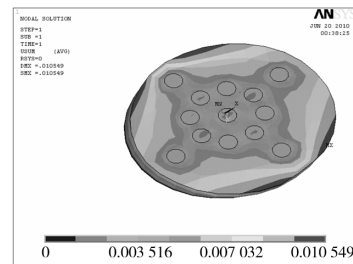
2 泡沫铝-聚氨酯复合材料厚度对应变的影响

厚度为6 mm的泡沫铝-聚氨酯复合结构模型受到7 800 g加速度冲击时的变形见图2a,可以看出:最大变形发生在聚氨酯上表面边界处,最大变形量为0.006 087 mm,最小形变发生在下表面,变形量为0,上表面填充泡沫铝部分到聚氨酯部分变形量依次增大。由图2a可知,聚氨酯受到冲击时变形很大,而加入泡沫铝后,减小了复合结构体的变形,这就证明了泡沫铝具有很高的吸能效率,强度更高,能实现高能量的吸收,同时具有高温稳定性,使其可以承受较大冲击而不致发生破坏。填充泡沫铝后,复合结构的性能提升较大。

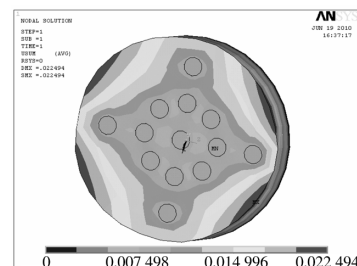
厚度为8 mm的泡沫铝-聚氨酯复合结构模型受到7 800 g加速度冲击时的变形见图2b,最大变形量为0.010 549 mm;最小形变在下表面,变形量为0,最大形变发生在复合结构上表面,而复合材料上表面的



a 6 mm



b 8 mm



c 12 mm

图2 泡沫铝-聚氨酯复合材料厚度对其应变的影响(mm)

Fig. 2 Influence of thickness of aluminum foam-polyurethane composite material on strain

最小形变量是泡沫铝部分,变形量为0.002 344 mm,从填充泡沫铝部分到聚氨酯变形量依次增大。由图2b可知,泡沫铝填充有效地改变了聚氨酯变形性能,显著提高了复合材料的承载能力;聚氨酯材料的变形较大,吸收能量多,较小冲击就能生较大破坏;泡沫铝可受较大冲击,吸收能量较少且不易变形,显然弹性模量的值愈大,该泡沫塑料的吸能特性愈好,所以泡沫铝调节了聚氨酯的冲击性能,从泡沫铝到聚氨酯材料的变形过度,使泡沫铝-聚氨酯复合材料可承受的冲击普遍升高,提升了泡沫铝-聚氨酯复合材料的冲击吸能性能,使该复合材料的结构性能有所改善。

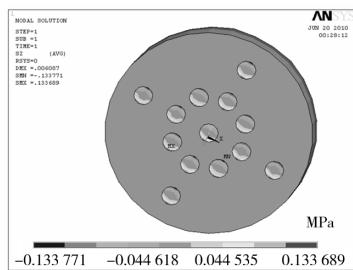
厚度为12 mm的泡沫铝-聚氨酯复合结构受到7 800 g加速度冲击时的变形见图2c,最大变形发生在聚氨酯外边沿处,变形量为0.022 494 mm,最小形变发生在下表面,变形量为0。最大形变发生在复合材料上表面,而复合结构上表面的最小形变量是泡沫铝部分,变形量为0.007 498 mm,从上表面填充泡沫

铝部分到聚氨酯部分变形量依次增大。

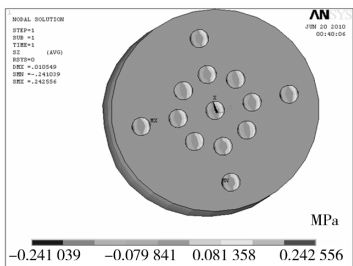
由图 2 可知,聚氨酯受到冲击会产生很大变形,而加入泡沫铝后,减小了复合材料的变形,使其可以承受较大冲击而不致发生破坏,提升了泡沫铝-聚氨酯复合材料的综合性能。

3 泡沫铝-聚氨酯复合材料厚度对应力的影响

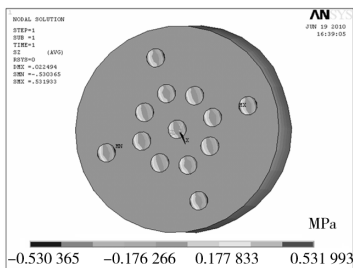
图 3a 是厚度为 6 mm 的泡沫铝-聚氨酯复合结构



a 6 mm



b 8 mm



c 12 mm

图 3 泡沫铝-聚氨酯复合材料厚度对其应力的影响

Fig. 3 Influence of thickness of aluminum foam-polyurethane composite material on stress

模型受到 7 800 g 加速度冲击时的 z 方向应力图,可以看出:最大应力发生在聚氨酯与泡沫铝交界处,应力大小分别为 0.133 771 MPa 和 -0.133 689 MPa,应力方向相反。应力变化主要在泡沫铝与聚氨酯 2 种材料的交界处,从填充泡沫铝部分到与聚氨酯交界处的应力大小依次增大,最大值为 0.133 771 MPa。

图 3b 是厚度为 8 mm 的泡沫铝-聚氨酯复合结

构模型受到 7 800 g 加速度冲击时的 z 方向的应力图,最大应力发生在聚氨酯与泡沫铝交界处,应力大小分别为 0.242 566 MPa 和 -0.241 039 MPa,方向相反。最大应力值主要在泡沫铝与聚氨酯 2 种材料的交界处,从填充泡沫铝部分到与聚氨酯交接的外延应力依次增大。即应力改变主要发生在泡沫铝与聚氨酯的交界处,变化区域很小,变化较大,应力比较集中,交界区域容易发生破坏。

图 3c 是厚度为 12 mm 的泡沫铝-聚氨酯复合结构模型受到加速度 7 800 g 冲击时的 z 方向的应力图,从该图可以看到:最大应力发生在聚氨酯与泡沫铝交界处,应力大小分别为 0.531 933 MPa 和 -0.530 365 MPa,应力变化主要在泡沫铝与聚氨酯 2 种材料的交界处,从填充泡沫铝部分到与聚氨酯交接的外延应力依次减小→增大→减小。

由图 3 可知,在泡沫铝与聚氨酯的交界处发生应力集中,应力变化区域很小,变化量大,容易发生破坏。当冲击能量较高时,应力在复合材料的最后层迭加,复合材料出现较大范围的屈服变形。

4 结论

由以上分析可知,在一定厚度范围内,厚度越大,泡沫铝-聚氨酯复合结构模型受到冲击时产生的最大应力越大,最大变形量也越大。2 种材料相结合产生的泡沫铝-聚氨酯复合材料结构在性能上取长补短,产生协同效应,使复合结构的综合性能优于原组成材料。

在冲击加速度为 7 800 g 时,厚度为 6, 8, 12 mm 的泡沫铝-聚氨酯复合材料模型都能起到缓冲作用,都满足使用要求。考虑到模型内部空间体积越小越好,最终选择了厚度为 6 mm 的材料。由于应力改变集中在接合面,把易被破坏的地方转到了接合面,所以如何改善接合面的性能需进行深入研究。

参考文献:

- [1] 齐明思,张晋宁,杨卫,等. 泡沫铝-聚氨酯复合结构的缓冲性能研究[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 6-9.
- [2] 石少卿,张湘冀,刘颖芳,等. 硬质聚氨酯泡沫塑料在军事工程中的应用[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(8): 36-39.

周期较长等特点,为达到物资防腐蚀和长期储存的要求,应针对物资长期封存包装特点和要求,认真分析和研究制定封存包装方式和防护技术措施。改进物资包装技术和包装材料,采用气相防锈材料等高效多功能的包装新材料,应用除氧、充氮等包装方法,以增加防护效能、延长包装有效期限,实现物资储存期间性能可靠。

3.3 建立完善包装检测试验资质条件

包装有效期限管理是一个动态的过程,即使在包装有效期限内也应加强质量监测和管理^[9]。逐步实行物资质量检测、认证制度,经专业检测机构或指定的国家检测机构进行质量检测,按规定形式及内容形成检测报告。物资包装有效期储存试验需要不同类型的试验环境,试验应依托有资质的专业实验室。因此,应加强具有不同产品特色的实验条件建设,为物资包装有效期试验提供技术保障。

3.4 加强包装有效期内物资维护保养

物资包装有效期内应加强储存维护保养。在封存期间,要经常检查器材的封存情况,封存到期应及时进行再次封存。建立定期封存制度,制定物资维护保养计划,按照物资计划对物资所进行的晾晒、倒垛、擦拭、清洗、油封、充电、检测、调试、封存等技术防护活动。同时,加强物资储存环境条件的改善,采用通风、除湿等手段,创造清洁干净、通风干燥的储存环境,减少有效期内的锈蚀损坏,从而有效延长包装有效期。

4 结语

确定军用物资包装有效期应综合考虑多种影响

因素,根据需要增加高温高湿等特殊环境条件的模拟试验,加速环境条件的变化,检验产品包装的稳定性。采用各种统计方法,建立数学模型,必要时应采用缩短包装有效期的方法以保证产品在有效期内的性能可靠。通过多种途径建立合理的包装有效期,保证产品在有效期内质量符合规定,指导军用物资的正确储存和使用。

参考文献:

- [1] 董志武. 包装有效期预测模型研究进展[J]. 中国包装工业, 2001(9): 30-32.
 - [2] 金国斌. 关于商品货架寿命的影响因素与确定方法[J]. 中国包装工业, 2001(11): 28-30.
 - [3] 刘国俊, 陈景鹏. 威布尔分布在寿命分析中的应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2003(6): 69-71.
 - [4] 明波, 杨学强, 王玉栋. 装甲装备器材包装防护研究[J]. 包装工程, 2003, 24(6): 29-30.
 - [5] 徐自芬, 郑百哲. 中国包装工程手册[K]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
 - [6] 李荣强, 黄晓霞. 新世纪武器装备包装的研究与发展方向[J]. 包装工程, 2004, 25(6): 164-166.
 - [7] 赵火应. 装甲装备器材保养封存与包装[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
 - [8] 刘振溪. 数理统计法在预测橡胶制品储存期限中的应用研究[J]. 中国市场, 2008(49): 36-38.
 - [9] 闵春红. 弹药包装试验现状与发展[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 35-36.
-
- (上接第 26 页)
- [3] 卢子兴, 严寒冰, 王建华. 聚氨酯复合泡沫塑料的动态压缩力学性能[J]. 中国塑料, 2004, 18(3): 67-70.
 - [4] QI Ming-si, YANG Wei. Research on Profile Shock-cushioning Performance of Foamed Aluminum-polyurethane Composite Material[J]. Advanced Materials Research, ICMSE, 2011: 460-465.
 - [5] 孙志杰, 龚元明, 贺成红, 等. SHPB 横向冲击法研究 AF/ZF 混杂纤维复合材料吸能特性[J]. 复合材料学报, 2005, 22(3): 21-24.
 - [6] 刘鸿文. 简明材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
 - [7] WEI N, GONG C L, CHENG H F, et al. Low-frequency Damping Behavior of Foamed Commercially Pure Aluminum[J]. Materials Science and Engineering, 2002(A332): 375-381.
 - [8] 周敏, 李大纲. 新型功能性聚氨酯复合包装板材弯曲和压缩性能的研究[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 9-10.
 - [9] RELPH Zee, HSIEH H, CHUNG Y. Energy Loss Partitioning During Ballistic Impact of Polymer Composites[J]. Polymer Composites, 1993, 14(3): 265-267.
 - [10] 胡强, 唐录成. 聚氨酯泡沫塑料复模量参数的测试和识别[J]. 包装工程, 1995, 16(3): 11-15.