

文章编号: 1004 - 0609(2003)03 - 0667 - 04

纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的显微组织与阻尼性能^①

郑丽娟, 赵玉涛, 金明江, 程晓农, 刘 强

(江苏大学 材料科学与工程学院, 镇江 212013)

摘 要: 采用热压固化成形工艺成功制备了纤维/树脂/铝合金叠层复合材料。采用扫描电镜分析了铝合金表面处理工艺对叠层复合材料界面显微组织的影响。结果表明: 该种复合材料不仅具有较高的强度和良好的成形加工性, 而且抗震性能好, 其振动衰减系数较基体铝合金有较大幅度的提高。

关键词: 叠层复合材料; 显微组织; 阻尼性能

中图分类号: TB 331

文献标识码: A

现代社会的高速发展, 对材料提出了越来越高的要求。实践表明, 单质材料的使用范围受到越来越多的限制, 材料复合化已成为当今材料发展的趋势。目前人们已开展了对复合材料的一些研究工作^[1, 2], 其中仿贝壳叠层复合材料是一种新兴的复合材料, 它是模仿自然界中贝壳珍珠层的微观结构而进行设计和制备的。然而由于生物结构多样化和工艺复杂化, 这类复合材料的设计和制备已成为阻碍其应用的“瓶颈”问题。贝壳珍珠层的侧面形貌类似于砖墙结构, 是由一层层超薄的霏石晶片通过几十 nm 厚的有机蛋白质基体相连, 贝壳的韧化机制是裂纹偏转、有机质桥接和文石晶片的拔出, 该种韧化机制是目前增韧陶瓷材料的最有效方法之一^[3~8]。此外从贝壳的增韧机制中还可以发现: 韧性的提高是在材料不破坏的情况下通过能量的吸收和转换来实现的^[9]; 而能量的吸收和转换是达到良好阻尼减振效果的关键。因此作者将贝壳的结构特点应用于叠层复合材料的设计中, 在高强、高硬的铝合金基体层间引入具有良好韧性、抗冲击性的树脂材料, 并在树脂材料中加入纤维以增强复合材料, 制备了纤维/树脂/铝合金叠层复合材料。

1 复合材料制备

1.1 原材料

本实验选用完全退火态 LY12 铝合金板作为叠层复合材料的基体, 厚度为 0.5 mm。为增加铝合金与树脂层的界面结合强度, 铝合金必须经过表面处

理, 实验采用喷丸处理使铝合金表面粗糙化。经喷丸处理后的铝合金表面粗糙度增加, 但表面活性不够, 还需要进行酸处理以达到良好的界面粘结强度。

树脂选用聚碳酸脂(PC), 为提高复合材料的强度, 采用无碱玻璃纤维布来增强复合材料。

1.2 制备工艺

经表面处理的铝合金与纤维和树脂的叠层模型如图 1 所示。在真空热压炉中于 900 kPa 的压力下热压固化成形, 获得厚度为 0.5 mm/0.65 mm/0.5 mm 的 2/1 型纤维/树脂/铝合金叠层复合材料(固化温度曲线见图 2)。

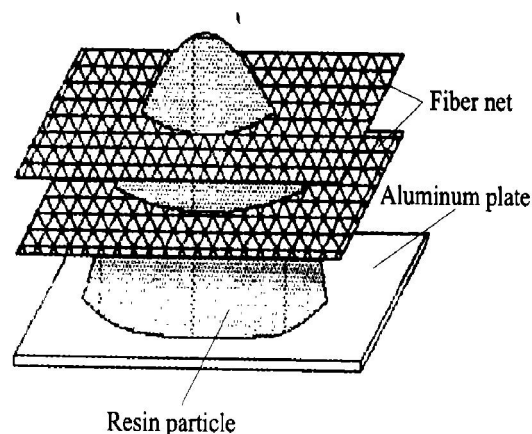


图 1 叠层复合材料的叠层模型

Fig. 1 Laminated model of composite

2 显微组织

将获得的叠层复合材料的样品在垂直界面的方

① 基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK99111); 江苏省教育厅基金资助项目(02KJD430001, 01KJB430003)

收稿日期: 2002 - 07 - 22; 修订日期: 2002 - 10 - 27

作者简介: 郑丽娟(1976 -), 女, 硕士研究生。

通讯联系人: 赵玉涛, 教授; 电话: 0511 - 8791919; E-mail: zhaoyt@ujs.edu.cn; Fax: 0511 - 8791919

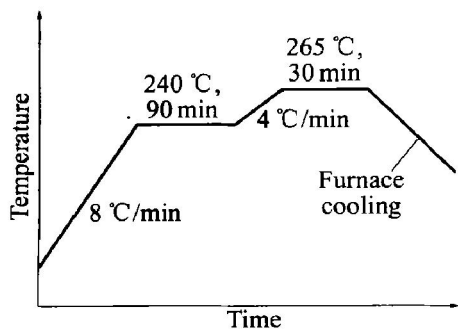


图 2 固化工艺曲线

Fig. 2 Curve of solidifying process

向进行抛光喷 Au 处理, 用 JEOL - JXA - 840A 扫描电镜进行复合材料的纵截面形貌观察与分析, 结果如图 3 所示。图 3 所示反映了铝合金不同表面处理工艺对纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的铝合金/树脂界面结合的影响。由图 3 可见: 未经喷丸处理, 仅用酸腐蚀处理后成形的叠层复合材料界面平坦(图 3(a)); 而经喷丸和酸腐蚀处理后成形的叠层复合材料界面呈锯齿状(图 3(b)), 具有良好的机械啮合效果。其原因在于: 铝合金经喷丸处理后, 提高了铝合金的表面粗糙度, 当叠层复合材料热压固化时, 熔融状的树脂与铝合金表面微孔充分浸渗, 在固化成形后的复合材料铝合金/树脂界面上形成锯齿形粗糙界面, 从而提高界面结合强度; 另一方面, 经喷丸处理后的铝合金表面膜受到破坏, 再经酸腐蚀后, 其表面原子化学活性大大提高。铝合金表面的活性原子基团与树脂可能会发生微反应, 形成反应层。

3 复合材料的性能

3.1 力学性能

将制备的纤维/树脂/铝合金 2/1 型叠层复合材料在 DWD - 200 电子式万能实验机上进行拉伸实验, 在 WE - 100 液压式万能实验机上进行三点弯曲实验, 有效试样为 80 mm × 25 mm × 1.65 mm。每组实验 5 个试样, 实验数据取平均值, 实验结果如表 1 所示。

从表 1 中可见, 纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的拉伸强度比相应铝合金的提高约 30%。其原因在于: 一方面是由于增强体玻璃纤维强度高, 另一方面是由于锯齿状的铝合金/树脂界面结合强度高, 在拉伸和弯曲过程中不会由于界面脱粘而破坏。纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的拉伸模量有所降

低, 这主要是因为 PC 树脂的拉伸模量较低, 从而影响到纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的拉伸模量。另外, 纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的弯曲性能好, 最大挠度达到 50% 时, 样品尚未发生断裂和脱层破坏。这表明纤维/树脂/铝合金叠层复合材料具有很好的变形能力, 这是因为发生断裂时裂纹扩展到树脂层处受阻, 并沿铝合金/树脂界面处发生频繁转折, 从而大大增加断裂功与断裂韧性。

此外, 由于所用树脂的密度较铝合金的小, 纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的密度只有铝的 74% (见表 1), 因此, 其比强度 (122.5 MPa) 要大于铝合金的比强度 (66.7 MPa)。由于纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的弯曲性能较好, 具有很好的变形能力, 所以纤维/树脂/铝合金叠层板具有良好的加工成形性。

3.2 阻尼性能

采用自由振动衰减法测量阻尼性能, 阻尼实验的简化模型如图 4 所示。实验设备有 SD380 动态分析仪、加速度传感器、激振器、功率放大器。实验中采用 0.5 mm/0.65 mm/0.5 mm 的 2/1 型叠层复合材料, 其有效尺寸为 105 mm × 25 mm。作为对比, 还采用了 LY12 铝合金板, 其厚度为 1.65 mm。以悬臂梁为振动系统, 振动模式为横向弯曲振动, 对系统施加一个激振后, 让系统作自由衰减振动, 并记录下衰减波形, δ , ε , f_d 的计算式如下:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_n}{A_0} = \frac{\varepsilon}{f_d} \quad (1)$$

式中 δ 为对数衰减比; ε 为阻尼衰减系数; f_d 为自由振动的固有频率。

图 5 所示为纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的振动衰减波形, 根据振动衰减波形计算 δ , ε , f_d , 其结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 铝合金的一阶振动的固有频率高于纤维/树脂/铝合金叠层板的一阶振动固有频率, 根据梁的振动理论, 悬臂梁的一阶振动频率服从以下关系:

$$f_d = \frac{k_1^2}{2\pi} \frac{h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho}} \quad (2)$$

式中 k_1 为对应一阶频率的系数 (取 1.875); l 为梁的长度, mm; E 为梁的弹性模量, Pa; h 为平行于梁振动方向的高度, mm; ρ 为梁的质量密度, g/mm³。

由公式 (2) 可见, 梁的一阶振动固有频率正比于梁的弹性模量的平方根。因此当梁的外部尺寸相

表 1 纤维/ 树脂/ 铝合金复合材料和铝合金的性能

Material	Tensile strength/ MPa	Tensile modulus/ GPa	Bending strength/ MPa	Bending modulus/ GPa	Density/ (g•cm ⁻³)
Fiber/ resin/ aluminum alloy laminated composites	245	44. 1	465	34. 6	2. 0
LY12	180	77. 0			2. 7

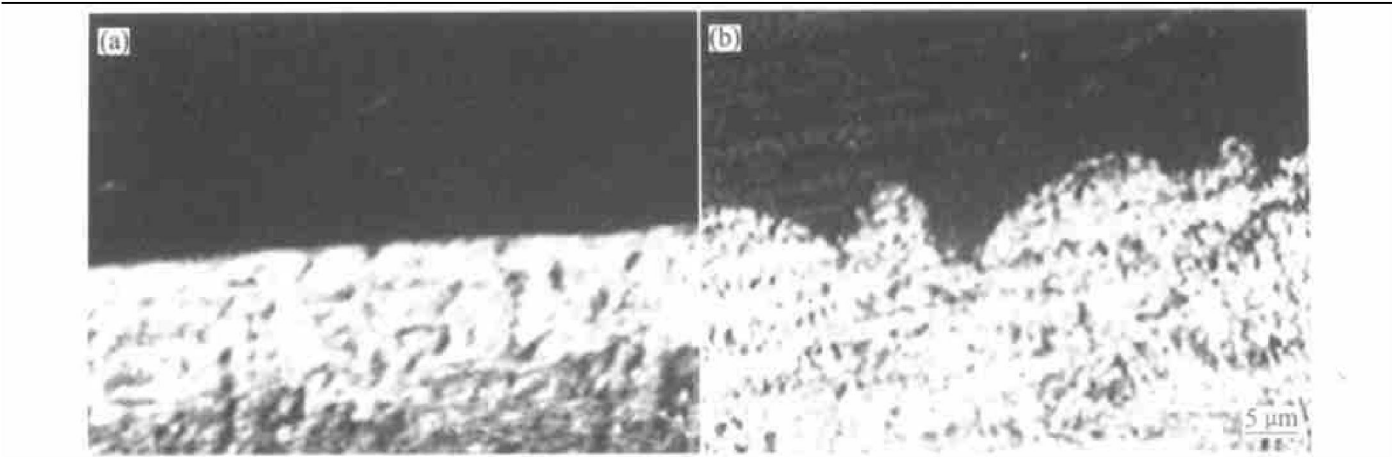


图 3 铝合金不同表面处理复合材料的界面结合形貌

Fig. 3 Morphologies of interfacial bond of composite after different surface treatment of Al alloy

(a) —Eroded with acid; (b) —Ball blast and eroded with acid

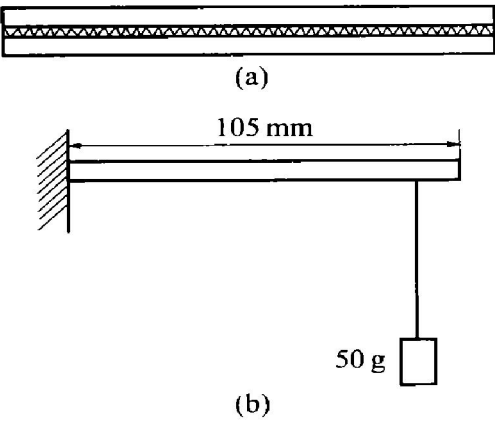


图 4 阻尼实验模型

Fig. 4 Model of damping experiment

表 2 铝合金与纤维/ 树脂/ 铝合金
叠层复合材料的阻尼性能

Material	δ	f_d/Hz	ϵ
LY12	0. 026 7	144	3. 85
Fiber/ resin/ aluminum alloy laminated composite	0. 085 4	113	9. 65

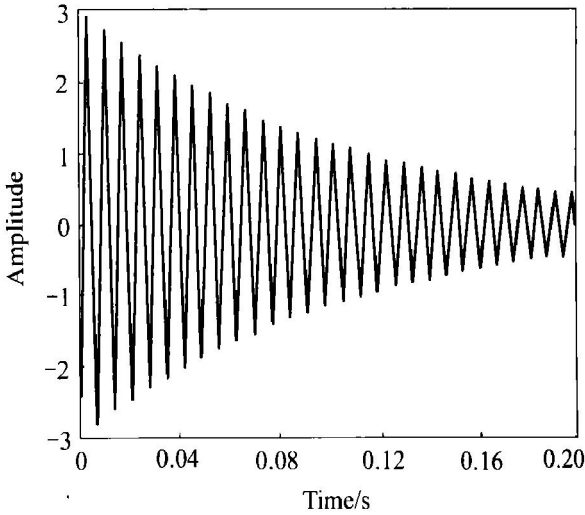


图 5 纤维/ 树脂/ 铝合金叠层复合材料的振动衰减波形

Fig. 5 Damping wave curve of
laminated composite

一阶振动固有频率比铝合金的一阶振动固有频率小。

纤维/ 树脂/ 铝合金叠层复合材料的阻尼衰减系数比铝合金的阻尼衰减系数大的多。这是由纤维/ 树脂/ 铝合金复合材料独特的叠层结构决定的, 在纤维/ 树脂/ 铝合金叠层复合材料中聚碳酸酯具有很高的振动衰减损失因子, 当聚碳酸酯作为整块存在时, 它的线性粘弹性的性质使得它的振动损失因子比结构金属材料高出一个数量级, 因此聚碳酸酯对

同时, 固有频率正比于梁的比模量的平方根, 由表 1 的结果, 纤维/ 树脂/ 铝合金叠层板的比模量小于铝合金的比模量, 因此纤维/ 树脂/ 铝合金叠层板的

纤维/树脂层的衰减损失因子贡献较大。纤维/树脂层的衰减损失因子较高,在纤维/树脂/铝合金叠层复合材料中起到了阻尼层的作用。这一结果与阻尼消振的原理^[10](具有夹芯阻尼层的结构,其减振性能优于单一材料的结构)相一致。对于单一的铝合金板来说,其振动能向热能的转换是通过材料的内耗实现的。而对于纤维/树脂/铝合金叠层板来说,其振动能的转换途径就显得非常多,如纤维/树脂层的粘弹性行为,纤维与树脂间的界面摩擦,树脂与铝合金的界面作用,材料的不均匀性引起的应力变化等。因此纤维/树脂/铝合金叠层复合材料的振动衰减性能比铝合金的振动衰减性能优异。

REFERENCES

- [1] Volgelesang L B, Vlot A. Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures[J]. J Mater Processing Technology(Netherlands), 2000, 103(1): 1-5.
- [2] Burte H M, Deusen R L, Hemenger P M, et al. The Potential Impact of Biotechnology on Composites[M]. Lancaster, Pennsylvania: Tech Pub Co Inc, 1986. 65-68.
- [3] Wang R Z, Wen F Z. Observations of damage morphologies in nacre during deformation and fracture[J]. J Mater Sci, 1995(30): 2299-2303.
- [4] Zhou B L. Bio-inspired study of structural materials[A]. Mater Sci & Eng C: Biomimetic Materials, Sensor and System [C]. Switzerland: [s.n], 2000. 13-18.
- [5] Zhou B L. Progress and exploration of biomimetic design. pressing and treatment of materials[A]. ZTMS. Trends in Mater Sic & Technol(part 1)[C]. Hanoi Viet Nam: ZTMS Building, 1999. 281-289.
- [6] 汪日志, 冯庆玲, 崔福斋, 等. 仿生设计的 Al_2O_3 /环氧树脂层状复合材料[J]. 材料研究学报. 1996(1): 95-99.
- WANG Ri zhi, FENG Qing ling, CUI Fu zhai, et al. The ar luminal fibre reinforced epoxy composite of bionic design[J]. Chinese Journal of Materials Research, 1996(1): 95-99.
- [7] 郭香华, 胡 宁, 蔡乾煌, 等. 陶瓷叠层结构增韧设计的数值模拟及实验研究[J]. 硅酸盐学报, 2000, 28(3): 234-237.
- GUO Xiang-hua, HU Ning, CAI qian-huang, et al. A Numerical simulation and experimental[J]. Journal of The Chinese Ceramic Society, 2000, 28(3): 234-23.
- [8] 陈国华, 李明春, 姚康德, 等. 天然材料微观结构与过程仿生研究进展[J]. 化学通报, 1998, 61(1): 6-10.
- CHEN Guo-hua, LI Ming-chun, YAO Kong-de, et al. The development of natural material's microstructure and course biomimetic[J]. Chinese Chemical Society, 1998, 61(1): 6-10.
- [9] 韩启成, 程晓农, 赵玉涛. 仿生叠层复合材料的研究现状与进展[J]. 江苏理工大学学报, 2001(5): 8-12.
- HAN Qi-cheng, CHENG Xiao-nong, ZHAO Yu-tao. The status quo and development of study on inter-laminated biomimetic composite materials[J]. Journal of university of Science and Technology, 2001(5): 8-12.
- [10] 丁文镜. 减振理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- DING Wen-jing. The Theory of Alleviate Vibration[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1988.

Microstructure and damping property of fiber/ resin/ aluminum alloy laminated composite

ZHENG Li Juan, ZHAO Yu-tao, JIN Ming-jiang, CHENG Xiao-nong, LIU Qiang
(School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The fiber/ resin/ aluminum alloy laminated composites were fabricated by using laminated solidifying technics. With the help of SEM, the influence of surface treatment techniques of aluminum alloy on the interfacial bond of the laminated composites was investigated. The results of property tests show that the fiber/ resin/ aluminum alloy laminated composite exhibits high strength and good formability. Furthermore, the results of damping experiments reveal that the composite has a much higher damping coefficient than the matrix aluminum alloy, which is favorable for anti vibration.

Key words: laminated composites; microstructure; damping property

(编辑 陈爱华)