

特约专栏

玻璃鳞片对聚氨酯复合结构的阻尼性能影响

胡毅钧¹, 欧阳肖², 仲耿², 高闪², 魏浩², 刘连河^{2,3}

(1. 海军装备部驻沈阳地区军代表局, 辽宁 沈阳 110031)

(2. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

(3. 青岛海洋新材料科技有限公司, 山东 青岛 266101)

摘要: 填料对阻尼材料和结构的减振效果具有重要的影响, 本文以聚氨酯阻尼材料、自由阻尼结构和约束型阻尼结构为研究对象, 利用半功率带宽法, 考察聚氨酯阻尼材料中加入玻璃鳞片的含量、尺寸对悬臂梁结构复合损耗因子的影响规律, 为阻尼材料的改性及阻尼结构设计提供基础理论依据。结果表明, 玻璃鳞片在聚氨酯阻尼树脂中呈定向排列, 形成多层片层结构。随着玻璃鳞片的加入, 通过玻璃鳞片和阻尼树脂之间的界面摩擦可消耗更多的能量, 使得复合损耗因子变大, 但过高的玻璃鳞片含量会限制其运动, 从而导致复合损耗因子降低; 当聚氨酯阻尼树脂中加入的玻璃鳞片的尺寸逐渐变大时, 阻尼结构的复合损耗因子逐渐变大, 且复合损耗因子增大的速度逐渐减小。

关键词: 阻尼材料; 阻尼结构; 填料; 玻璃鳞片; 复合损耗因子

中图分类号: TQ630.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2014)09-0614-04

The Influence of Glass Micro-Plate on the Damping Properties of Structures Based on Polyurethane

HU Yijun¹, OUYANG Xiao², ZHONG Geng², GAO Shan², WEI Hao², LIU Lianhe^{2,3}

(1. Military Deputy Bureau of Naval Equipment Department in Shenyang Region, Shenyang 110031, China)

(2. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

(3. Qingdao Advanced Marine Material Technology Co., Ltd., Qingdao 226101, China)

Abstract: The filling plays a very important role in the damping performance of damping materials and structures. The major objective of this paper is to determine the effect of the dimensions and quantity of the glass flakes on the damping factor of polyurethane materials and different damping structures, such as free damping structure and constrained damping structure, which can provide basic foundational data for the modification of damping materials and the damping structure design. The results showed glass flakes were directionally arranged and formed a multilayer laminated structure in polyurethane resin. With the addition of glass flakes, the damping factor increased due to the more energy consumption resulted from the interfacial friction between glass flakes and damping resin. But too much glass flakes led to decreasing of damping factor because of the limited interfacial friction. In addition, with the size of glass flakes increasing, the damping factor of polyurethane damping structure increased, and the rate of growth decreased.

Key words: damping material; damping structure; fillings; glass flakes; damping factor

1 前言

聚氨酯材料内部的硬段相和软段相之间因热力学不

相容而发生相分离, 当聚氨酯材料受到外部交变应力时, 可通过软硬段相之间的摩擦将振动能转化为热能耗散掉, 因此, 聚氨酯材料是一种理想的阻尼材料^[1]。

对于同一种阻尼材料, 不同的使用方法, 用于不同的阻尼结构, 其减振降噪效果会存在较大的差异。研究表明, 通过在自由阻尼结构上附加一层约束层形成约束阻尼结构, 比自由阻尼结构具有更大的耗能能力, 从而达到更好的减振效果^[2]。

本文利用玻璃鳞片在聚氨酯自由阻尼结构中引入大

收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 科技部国际科技合作专项项目(2011DFR50770)

第一作者: 胡毅钧, 男, 1975年生, 工程师

通讯作者: 魏浩, 男, 1975年生, 教授, Email: weihao@hrbeu.edu.cn

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2014.09.11

量微米级的约束阻尼结构,研究了玻璃鳞片数量和尺寸对悬臂梁结构复合损耗因子的影响规律,为阻尼材料的改性及阻尼结构设计提供依据。

2 实验

2.1 原料

聚氨酯阻尼材料 HGC-21(G), 哈尔滨工程大学海洋先进材料研究院; 玻璃鳞片(尺寸分别为 760 μm 、380 μm 、250 μm 、190 μm), 廊坊市金川玻璃制品有限公司, 如图 1 所示; Q235 钢板(400 mm \times 40 mm \times 4 mm), 自制加工。

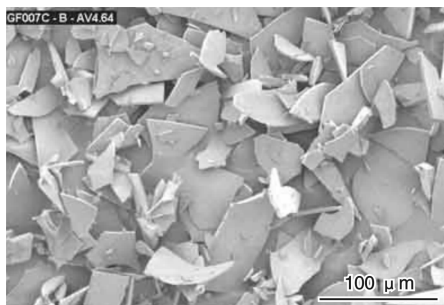


图1 玻璃鳞片产品的 SEM 照片

Fig. 1 SEM micrograph of glass flakes product

2.2 实验方法

2.2.1 阻尼结构制备

按照配方(如表 1)称取一定量的阻尼树脂 A 组分和

玻璃鳞片, 室温下机械搅拌至体系均匀后, 加入 B 组分, 机械搅拌至体系均匀后真空脱泡, 然后利用量积称重法取出一定量的阻尼材料刮涂在钢板(抛光并用丙酮清洗)上, 形成一层 4 mm 厚的阻尼层, 利用 SEM 对阻尼材料内部玻璃鳞片的分布和取向进行分析, 结果表明玻璃鳞片在材料内部取向, 形成多层定向排列结构, 如图 2 所示, 在不同放大倍数下, 阻尼材料中的玻璃鳞片都沿特定方向定向排列, 阻尼材料分布在玻璃鳞片片层之间。室温固化 12 h, 后固化 7 天后制得悬臂梁自由阻尼结构。

复合阻尼结构的制样清单如表 1 所示。

表 1 自由阻尼结构和约束阻尼结构制样表

Table 1 Structure data of free damping and constraining damping sample

No.	Thickness of damping layer	Thickness of constraining layer	Mass content of glass flake	Scale of glass flake
1	4 mm	0	0	760 μm
2	4 mm	0	0.15	760 μm
3	4 mm	0	0.2	760 μm
4	4 mm	0	0.27	760 μm
5	4 mm	0	0.43	760 μm
6	4 mm	0	0.43	380 μm
7	4 mm	0	0.43	250 μm
8	4 mm	0	0.43	190 μm

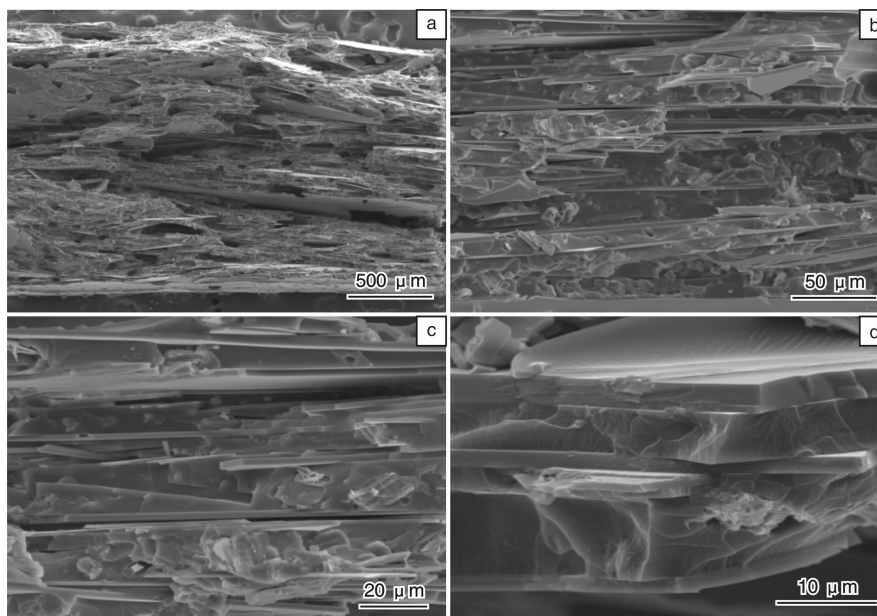


图2 玻璃鳞片在阻尼材料中的分布形态 SEM 照片: (a)50 倍, (b)500 倍, (c)1 000 倍, (d)3 000 倍

Fig. 2 SEM images showing distribution of glass flakes in damping materials: (a) $\times 50$, (b) $\times 500$, (c) $\times 1\,000$, and (d) $\times 3\,000$

2.2.2 性能测试

对聚氨酯复合阻尼结构的减振性能的评价, 根据国

标 GB/T 18258-2000《阻尼材料阻尼性能测试方法》^[3], 测得结构的复合损耗因子。测试装置如图 3 所示。

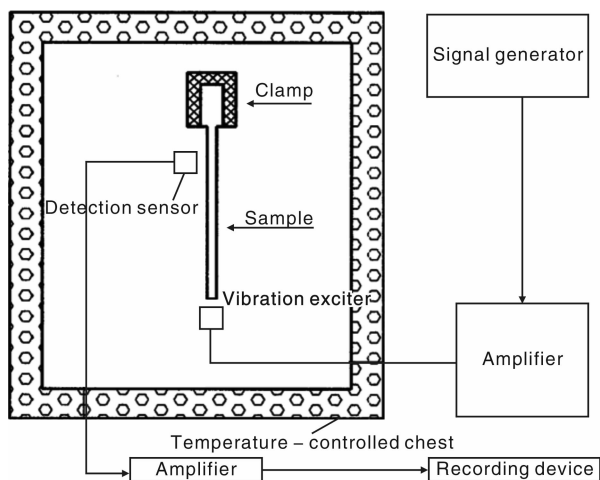


图 3 阻尼性能测试装置示意图

Fig. 3 Sketch map of testing equipment for structural damping analysis

2.2.3 数据分析

试样共振的典型频响曲线如图 4 所示, 根据频响曲线找出试样的各阶共振峰, 通过分析共振峰可得到共振频率、共振幅值和半功率点等信息, 进而得到结构的阻尼损耗因子。

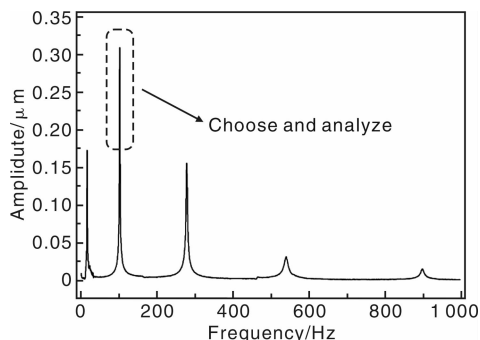


图 4 典型频响曲线

Fig. 4 Typical frequency-response curve as test result

图 5 为利用半功率带宽法分析频响曲线共振峰的示意图, 在共振曲线上共振峰值的 0.707 倍处, 作平行于

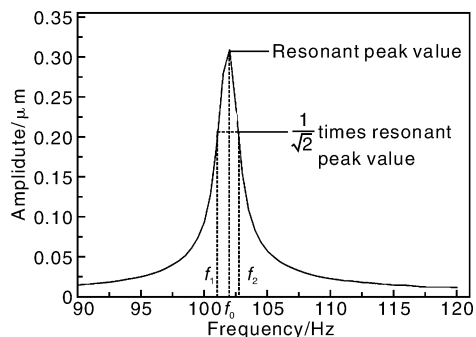


图 5 利用半功率带宽法分析频响曲线共振峰示意图

Fig. 5 Determination of structural loss factor by half-power bandwidth method

频率轴的直线与共振曲线交两点, 这两点对应的横坐标数值为 f_1 和 f_2 。

根据频响曲线, 利用半功率带宽法计算阻尼损耗因子公式如式(1)和式(2)所示:

$$\zeta = \frac{1}{2f}(f_2 - f_1) \times 100\% = \frac{\Delta f}{2f} \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (2)$$

式中: ζ 为阻尼系数; f 为频谱图上实测的共振频率也就是固有频率^[4]。

3 结果与讨论

3.1 玻璃鳞片质量分数对复合损耗因子的影响

以 $760 \mu\text{m}$ 的玻璃鳞片为例, 在相同质量的阻尼材料中加入不同数量的玻璃鳞片, 玻璃鳞片质量分数分别为 0, 15%, 20%, 27% 和 43%, 制成阻尼层厚为 4 mm 的复合阻尼结构。样条的二阶和三阶共振频率如表 2 所示, 复合损耗因子随玻璃鳞片用量的变化规律如图 6 所示。

表 2 不同玻璃鳞片用量复合样条(无约束层)的共振频率数据
Table 2 The 2nd and 3rd order resonance frequency datas of complex structural samples with different mass content of glass flake

No.	Mass content of glass flake	Scale of glass flake	2 nd resonance frequency	3 rd resonance frequency
1	0	$760 \mu\text{m}$	170.621	469.483
2	0.15	$760 \mu\text{m}$	164.021	465.664
3	0.2	$760 \mu\text{m}$	163.982	465.508
4	0.27	$760 \mu\text{m}$	160.899	463.555
5	0.43	$760 \mu\text{m}$	158.945	455.820

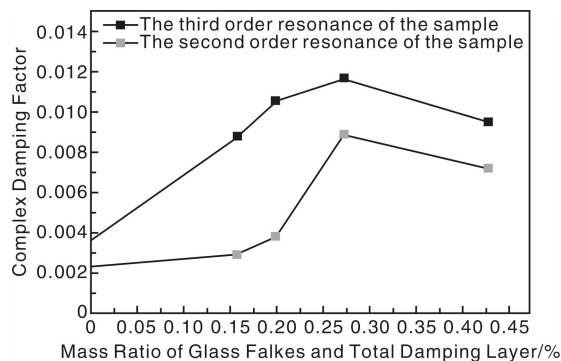


图 6 二阶和三阶共振下的复合损耗因子随玻璃鳞片质量分数的变化规律

Fig. 6 Effect of mass content of glass flake on 2nd and 3rd order loss factor of complex structural samples

玻璃鳞片的加入, 同时改变了阻尼材料的模量和密度。当阻尼结构形式一定时, 结构的共振频率随着结构

刚度变大而变大, 随着结构质量变大而变小^[5]。

由表2可知, 随着玻璃鳞片的加入, 复合结构的二阶和三阶共振频率逐渐下降, 即玻璃鳞片的加入引起的质量变化大于结构刚度变化。

由图6可知, 随玻璃鳞片加入量的增加, 二阶和三阶复合损耗因子先升高后降低, 即复合结构的耗能能力先变大后变小。高频下的复合损耗因子普遍高于低频下的复合损耗因子。分析认为, 在玻璃鳞片的加入初期, 玻璃鳞片的加入, 引入了玻璃鳞片和阻尼树脂之间的界面, 通过界面的摩擦消耗更多的能量; 随着玻璃鳞片的含量逐渐增加, 阻尼树脂中的玻璃鳞片逐渐达到饱和, 复合损耗因子达到最大值; 当向已饱和的阻尼树脂中进一步加入玻璃鳞片, 过高的玻璃鳞片含量会使玻璃鳞片的运动受到限制, 阻尼树脂与玻璃鳞片的摩擦不充分, 从而导致复合损耗因子降低。阻尼结构在高频条件下, 阻尼材料的形变及摩擦更充分, 耗能效果更好。

3.2 玻璃鳞片尺寸对复合损耗因子的影响

保持加入的玻璃鳞片的质量分数为43%, 选用不同尺寸的玻璃鳞片加入阻尼材料中, 制成阻尼层厚为4 mm的复合阻尼结构。复合结构的共振频率和复合损耗因子见表3和图7。

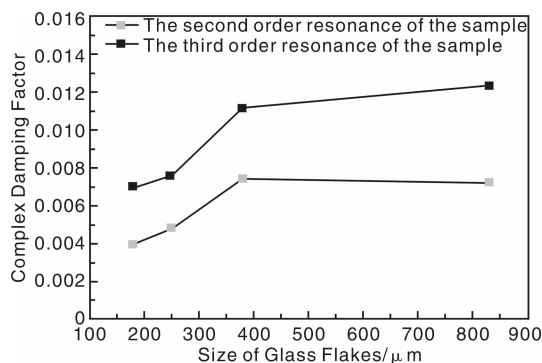


图7 二阶和三阶共振下的复合损耗因子随玻璃鳞片尺寸的变化规律

Fig. 7 Effect of scale of glass flake on 2nd and 3rd order loss factor of complex structural samples

由图7可知, 随着玻璃鳞片尺寸变大, 复合损耗因子逐渐变大。在尺寸变化初期, 复合损耗因子的变化较快; 当玻璃鳞片尺寸达到一定大小后, 随着尺寸的进一步增大, 复合损耗因子变大, 但是变大的速度逐渐变小。第三阶复合损耗因子普遍高于第二阶复合损耗因

子。分析认为, 玻璃鳞片尺寸越大, 玻璃鳞片之间的阻尼树脂的表面积也越大, 耗散能量的能力越强。

表3 含不同尺寸的玻璃鳞片的复合样条(无约束层)的共振频率数据

Table 3 Resonance frequency datas of complex structural samples with different glass flake scale

No.	Content of glass flake	Scale of glass flake	2 nd resonance frequency	3 rd resonance frequency
1	0.43	760 μm	170.621	469.483
2	0.43	380 μm	164.021	465.664
3	0.43	250 μm	163.982	465.508
4	0.43	190 μm	158.945	455.820

4 结 论

(1) 玻璃鳞片加入聚氨酯复合阻尼结构中以后, 玻璃鳞片呈定向排列, 在聚氨酯阻尼树脂中形成多层片层结构。

(2) 当聚氨酯阻尼树脂中玻璃鳞片的加入量增加时, 阻尼结构的复合损耗因子先增大后减小。

(3) 当聚氨酯阻尼树脂中加入的玻璃鳞片的尺寸逐渐变大时, 阻尼结构的复合损耗因子逐渐变大, 且复合损耗因子增大的速度逐渐减小。

参考文献 References

- [1] Gou Chuanping (苟川平), Chen Erfan (陈尔凡), Ma Chi (马 驰). 无机填料对聚氨酯阻尼材料性能影响的研究进展[J]. *Liaoning Chemical Industry* (辽宁化工), 2012, 41(5): 475-478.
- [2] Li Yidong (李亦东), Yu Qiao (于 翹). 阻尼结构与高聚物阻尼材料[J]. *Materials Science and Engineering* (材料科学与工程), 1995, 13(2): 1-13.
- [3] National Standardization Administration of the People's Republic of China (国家标准化管理委员会). GB/T 18258-2000 *Damping Materials-Testing Method for Damping Properties* (阻尼材料 阻尼性能测试方法)[S]. Beijing: People's Publishing House, 2001.
- [4] Dai Depei (戴德沛). *Damping Vibration and Noise Reduction Technology* (阻尼减振降噪技术)[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1986: 31-32.
- [5] Zhu Shijian (朱石坚), Lou Jingjun (楼京俊), He Qiwei (何其伟). *Vibration Theory and Vibration Isolation* (振动理论与隔振技术)[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008: 8-9.