

钢/玻璃鳞片树脂复合减振板研制*

胡传炘¹⁾ 刘颖²⁾ 袁丽红³⁾

(北京工业大学 1)金属材料科学与工程学系, 2)热能工程学系, 3)基础科学部, 100022)

【摘要】 采用两类特殊粘弹性物制备复合减振板, 并进行了性能测试, 减振及断裂分析, 提出了临界断裂应力计算式。

【关键词】 粘弹性物, 振动阻尼, 复合减振板

【中图分类号】 TG14

近年来, 复合减振板在粘弹性物配制、生产工艺、可点焊减振板研究等方面取得了很大进展^[1~4]。本研究采用特殊粘弹性物制备复合减振板, 并进行了性能测试、减振及断裂分析, 获得了一些有意义的结果。

1 试样制备及性能测试

1.1 粘弹性物配制

先从5种树脂中, 通过不同钢板前处理工艺, 选取了2种粘接性能强、阻尼性能好的树脂: 环氧树脂及聚乙酸乙烯酯。在此基础上, 对这2种树脂进行增塑、增韧及强度改进配方研究。从15种配方试验中, 获得两种配方。

1.2 鳞片及偶联剂选择

鳞片几何尺寸为厚3~4 μm, 平面尺寸为0.3~3.0 mm。考虑到粘弹性物关键性能是鳞片与树脂界面结合强度高, 因而选用硅烷类偶联剂。

1.3 试样制备

试样基本结构为束缚型减振板。两层钢板间夹一层粘弹性物, 粘弹性物为改进性树脂与鳞片的混合物(见图1)。

制备工艺为: ①板清洗, 表面洗净涂油除锈, 风干后待涂胶; ②粘弹性物(胶)配制: 将树脂、增塑剂、增韧剂、鳞片(经偶联剂处理)按一定比例配合调匀待用; ③两块涂胶后的钢板接触(胶层接触), 并均匀加压, 压力为0.5 MPa左右, 压实固化约72 h后进行测试(见图2)。



图1 试样结构

制备工艺为: ①板清洗, 表面洗净涂油除锈, 风干后待涂胶; ②粘弹性物(胶)配制: 将树脂、增塑剂、增韧剂、鳞片(经偶联剂处理)按一定比例配合调匀待用; ③两块涂胶后的钢板接触(胶层接触), 并均匀加压, 压力为0.5 MPa左右, 压实固化约72 h后进行测试(见图2)。

1.4 减振特性测试

一般情况下, 均质材料阻尼测量为内耗(对数衰减率 δ 或内耗 Q^{-1})值, 用扭摆(葛氏

收稿日期: 1993-12-22.

*北京市自然科学基金资助项目.

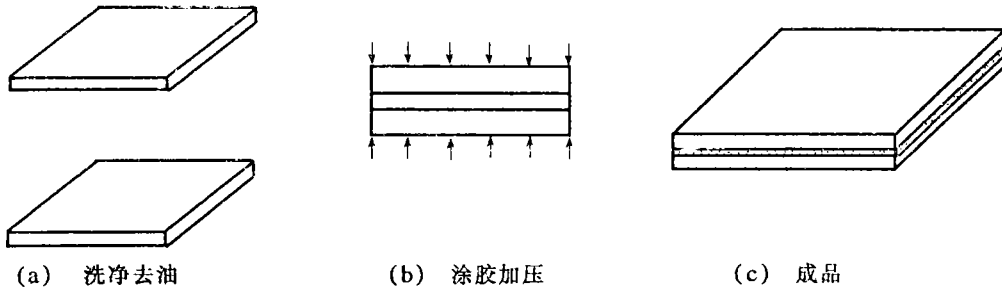
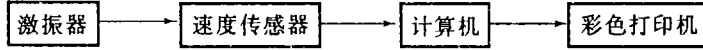


图 2 试样制备

摆)或音频共振法。对复合材料,尤其是复合钢板,上述已不合适,我们提出的测试系统基本组成是:



为简便计,采用悬臂梁试样。尺寸为 2.3 ~ 2.5 mm × 12 mm × 110 mm。在振动变形中,材料由于内耗产生阻尼。梁在初扰后即产生自由衰减振动。传感器捕捉到信号后送入计算机处理,记录波形。从 5 种树脂中,通过不同钢板前处理工艺及是否加鳞片,测试结果表 1。

表 1 不同粘性物复合板阻尼比 D

钢板预 处理状态	聚乙酸 乙烯酯	酚醛氯丁 -丁晴胶	环氧加 聚酰胺	环氧 508	不饱和 聚脂(196)	
清洗	不加鳞片	0.10	0.07	0.05	0.11	0.05
	加鳞片	0.14	0.13	0.09	0.12	0.05
打砂	不加鳞片	0.05	0.09	0.08	0.09	0.05
	加鳞片	0.07	0.06	0.13	0.10	0.04

均质板阻尼比 D 为 0.04。

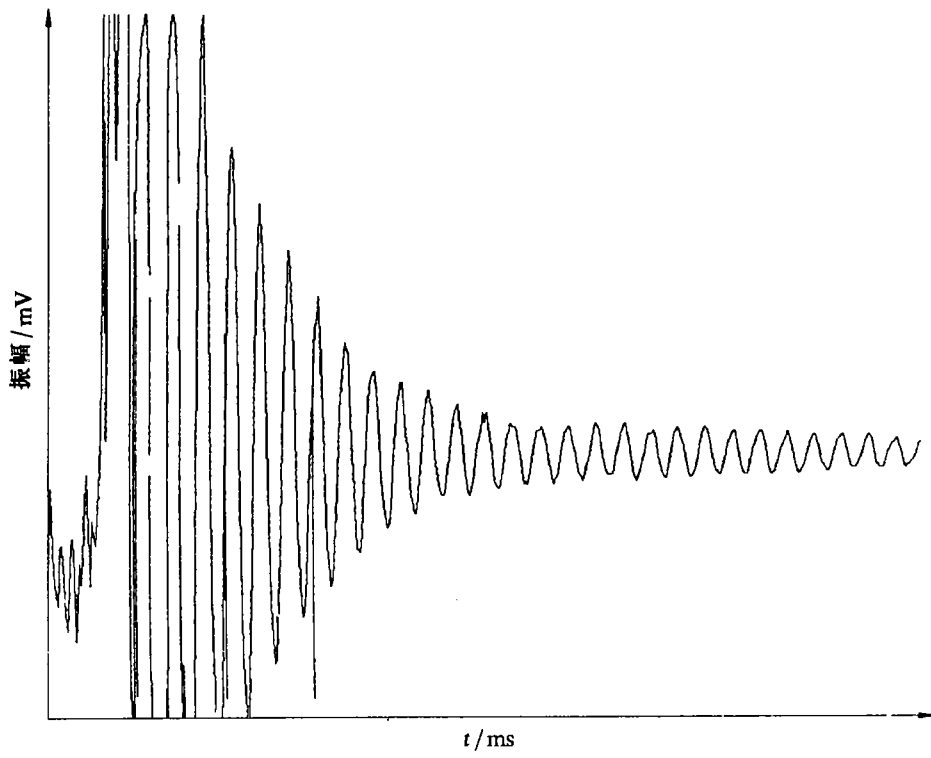
将环氧树脂及聚乙酸乙烯酯通过改性得到 15 种配方。其减振性测试结果见表 2。几个典型波形(A、 D_6 、 D_9 、 B_2)见图 3。粘弹性物配方见表 3。

表 2 15 种配方粘弹性物粘接强度及复合板阻尼比 D

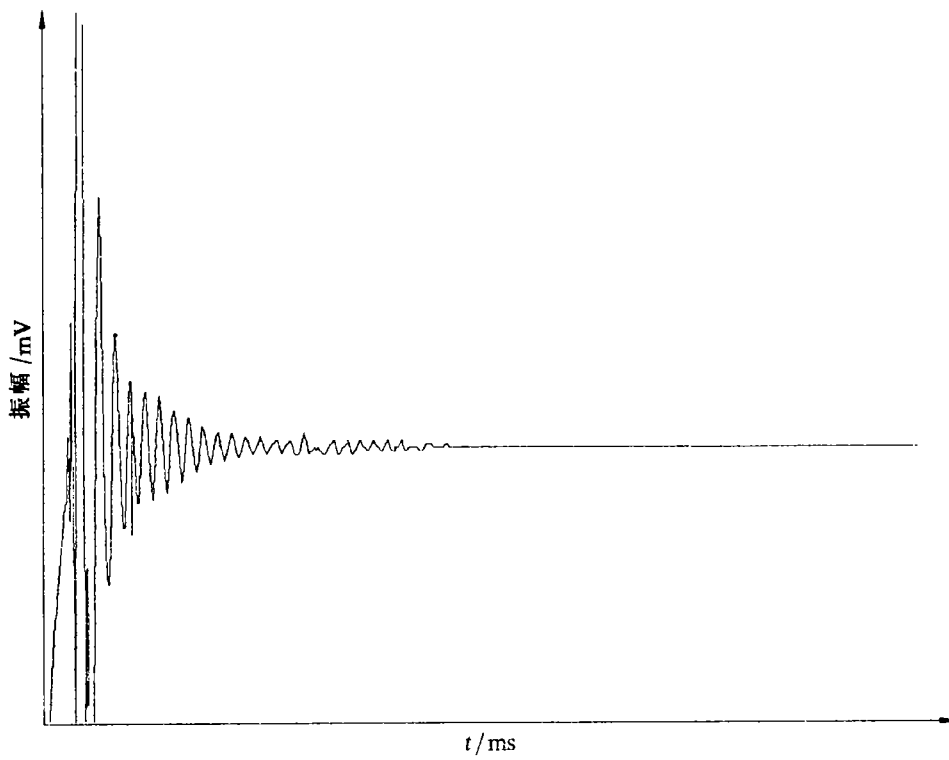
编号	粘接强度 /MPa	阻尼比 D	编号	粘接强度 /MPa	阻尼比 D
D_1	3.9	0.06	D_9	1.5	0.10
D_2	4.5	0.06	D_{10}	4.9	0.05
D_3	4.9	0.07	B_1	0.9	0.06
D_4	4.0	0.06	B_2	1.0	0.09
D_5	4.4	0.06	B_3	0.8	0.07
D_6	2.1	0.10	B_4	1.1	0.08
D_7	4.2	0.06	B_5	0.9	0.09
D_8	2.0	0.06			

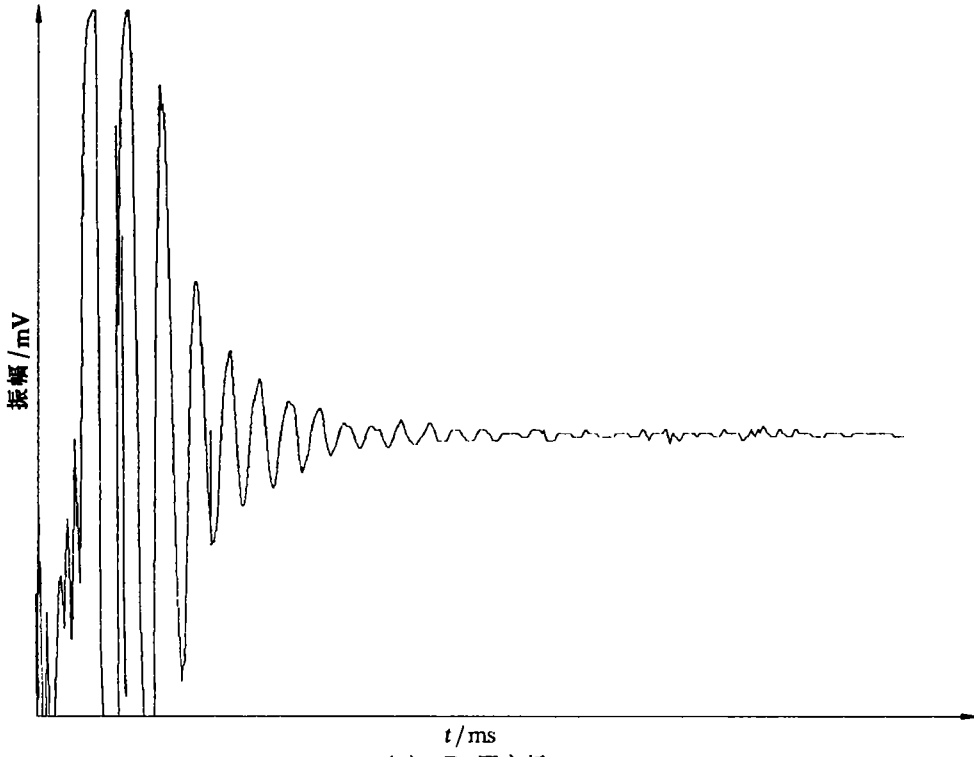
1.5 弹性模量及强度测试

试样尺寸为 2.3 ~ 2.5 mm × 10 mm × 150 mm。弹性模量测试结果见表 4。拉伸剪切

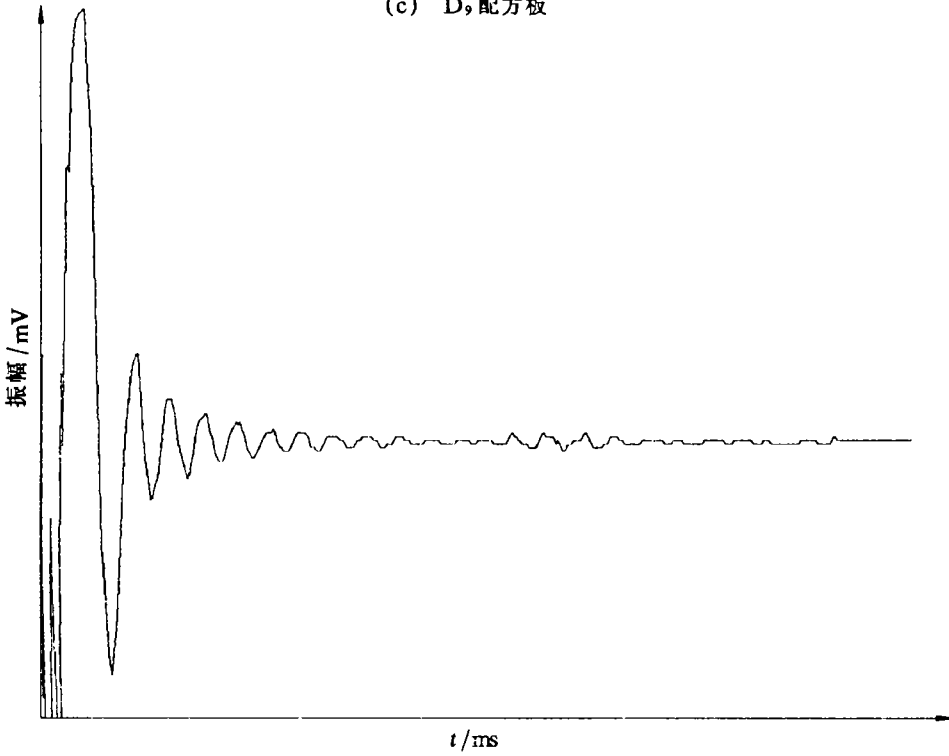


(a) 均质板

(b) D_6 配方板



(c) D₉ 配方板



(d) B₂ 配方板

图3 典型波形

表3 粘弹性物配方

编号	配方	编号	配方
D ₁	A+B	D ₉	A+B+F+G+J
D ₂	A+B+C	D ₁₀	A+B+F+G+J+C
D ₃	A+B+D	B ₁	E
D ₄	A+B+C+D	B ₂	E+C
D ₅	A+B+H	B ₃	E+A+B
D ₆	A+B+H+C	B ₄	E+A+B+C
D ₇	A+B+F+G	B ₅	E+A+B+C+F
D ₈	A+B+C+F+G		

A为环氧树脂; B为聚酰胺; C为鳞片; D为不饱和聚酯; E为聚乙酸乙烯酯; F为二丁酯; G为丁晴胶; H为307胶; J为铁粉.

强度试样见图4. 所测得粘弹性物粘接强度见表2. 所有试样测得的冷弯角(不脱胶)均大于90°拉伸断裂强度与原均质板(A3)相同.

表4 弹性模量测试结果

试样状况	弹性模量	密度 /g·mm ⁻²	比弹性模量
	平均值 /MPa		平均值 /×10 ⁹ mm
A ₃ 板	21.1	7.8	2.7
B ₂	20.4	6.9	3.0
D ₆	21.2	6.8	3.2

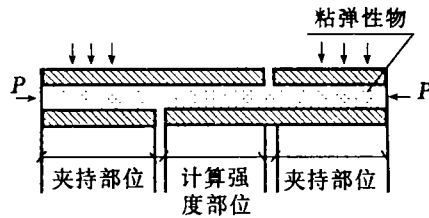


图4 拉伸剪切强度试样

2 试样结果分析

2.1 减振机理分析

从表1及表2可明显看到, 不管钢板前处理是清洗还是打砂, 所研制的夹心型复合板的阻尼比远大于原均质板(A3). 其减振机理是由于提高了复合板自振频率所致, 还是界面吸振所致呢? 从表4可见, 复合减振板的比弹性模量(3.0及3.2)略高于原均质板(A3). 由此可见, 复合板尽管提高了自振频率, 从而在一定程度上可避免与机件共振, 但这不是导致减振的主要原因. 鳞片由耐酸碱的中性玻璃经吹制、破碎、研磨而成, 片极薄. 表面无任何污染结碳现象. 所选用的硅烷类偶联剂, 分子中的一部分基因与鳞片表面化学基因反应, 形成强固的化学键结合, 另一部分则与树脂在有机分子反应或物理缠绕, 此种“桥联”效应将鳞片与树脂牢固结合. 在0.5mm粘弹性物中含有近百个鳞片, 在0.5mm胶层中由于巨量鳞片的存在使得界面增加近百倍. 大大增加了材料内部界面的吸振能力, 造成高的振动阻尼, 这即是减振的主要原因.

上述分析的一个推论是: 含有鳞片的粘弹性物之减振性能应优于未加鳞片的粘弹性物. 表1的试验结果证明了这一推论的正确性. 需要注意的是鳞片的加入, 虽然提高了复合板的阻尼性能, 但这是以牺牲板强度为代价的(见下文断裂分析). 因此, 应严格控制

鳞片加入量. 试验表明, 控制在 5% (质量比) 左右为宜.

2.2 断裂分析

鳞片为脆性物质, 当负荷达到鳞片断裂应力 σ_1 或树脂断裂应力 σ_2 时, 夹层 (树脂 + 鳞片) 断裂. 设钢基体断裂应力为 σ_c , 并假设鳞片数量足够多且其分布连续, 则有平衡条件:

$$a \cdot b \cdot d \sigma_x = 2(a+b)\tau dx \quad (1)$$

式中, a 、 b 为鳞片长宽, τ 为片表面切应力. 上式左边为鳞片内部拉应力, 右边为鳞片两表面的切应力. 考虑到加法原则, 则此复合材料断裂强度为:

$$\sigma_c = \sigma_{1c} \cdot f_1 + \sigma_{2c} \cdot f_2 + \sigma_{3c}(1-f_1-f_2) \quad (2)$$

式中, f_1 、 f_2 为鳞片、树脂体积百分数. 上式右边第 1 项为鳞片最大强度, 第 2 项为树脂最大强度, 第 3 项为相当于复合板厚度的钢板最大强度. 由于 σ_{1c} 及 σ_{2c} 远小于 σ_{3c} , 因此, 加鳞片无增强效果, 这与一般纤维增强复合材料正好相反.

得出 (2) 式显然也是基于下述考虑: 鳞片与树脂间偶联剂桥联效应其结合强度及树脂与钢板的粘接强度均很高, 当与钢板平行的剪切应力足够大时才引起树脂/钢板界面剥离.

由 (2) 式还可见, 加鳞片结果会使 σ_c 降低. 鳞片越多 (f_1 越高), 则 σ_c 亦越小. 此点与加薄片的复合材料断裂式

$$\sigma_{22} = V_r \cdot \sigma_{ru} \cdot (F_{SR}) + V_m \cdot \sigma'_m \quad (3)$$

是一致的. 上式中, σ_{22} 为复合材料临界应力; V_r 为片含量百分数; σ_{ru} 为片的临界应力; F_{SR} 为强度降低因子; V_m 为树脂百分数; σ'_m 为其临界应力.

实际上, 鳞片的分布不连续, 此时复合材料的最大强度为

$$\sigma_c = \sigma_{1c} \left(1 - \frac{a_c}{2a}\right) \cdot f_1 + \sigma_{2c} \cdot f_2 + \sigma_{3c}(1-f_1-f_2) \quad (4)$$

式中, a 为鳞片几何尺度; a_c 为临界长度. 当 $a = a_c/2$ 时, (4) 式右边第 1 项为零, 鳞片对复合板强度无贡献. 当 $a \rightarrow \infty$ 时 (鳞片极长) 则 (4) 式过度为 (1) 式.

通常的情况是: 鳞片足够多、鳞片分布不连续、鳞片分布与拉应力方向不一致. 考虑到 (4) 式右边第 1、2 项对整体复合材料强度贡献甚微, 故工程中 (3) 式仍可近似应用.

2.3 几个值得讨论的问题

(1) 不同前处理工艺对复合板的减振性能有影响. 从图 3 可见到, 在通常情况下钢板表面清洗比打砂要好. 这是由于清洗面一般平整光洁, 制板过程中所加压力是均匀的, 相应的清洗面受压后集中区域较打砂面要小, 因而整体结合好, 粘接强度高, 减振性高.

(2) 在制板过程中, 保证钢板表面前处理清理清洁及压力均匀、适当, 是至关重要的. 否则会导致树脂与钢板粘接强度及复合板的非均匀性, 影响使用效果.

(3) 综合考虑表 1、表 2, 可发现 D_6 、 D_9 及 B_2 虽有高的阻尼比, 但其粘接强度较低, 即其加工性能较差. 这种板应适用于对加工性要求不高, 但需阻尼高的场合, 如高层建筑的楼板、阶梯、桥梁、集装箱等结构. 而 D_3 、 D_{10} 粘接强度高, 但阻尼比小, 即加工性能较好, 但减振性较差. 这种板应适用于加工性要求较高, 但对阻尼比要求不大场合, 如汽车车身, 各种振动体本体及外壳等结构. 综合性能 (粘接强度、阻尼比) 较好的是 D_3 及 B_4 .

3 结论

1 对钢/玻璃鳞片树脂复合减振板粘弹性物配制中, 应控制鳞片数量 5% 左右; 板压制中应控制压力大小及均匀性, 大小 0.5 MPa 为宜。

2 所研制成的减振板, 粘弹性物树脂以改性环氧树脂树脂及聚乙酸乙烯酯为首选。此种板的减振性能主要取决于夹层树脂及其中鳞片造成的振动阻尼, 即主要是由于树脂与鳞片的界面吸振所致。

3 复合减振板的临界应力计算, 可按(2)式进行。

4 钢/玻璃鳞片树脂复合减振板减振性能良好, 两类界面结合强度高并具备一定加工性能, 工程中有相当应用价值。

参 考 文 献

- 1 谷内 篁. 制振铜板用树脂の開発. 日本接着学会, 1990, 26(7): 258 ~ 263
- 2 Stevens K K. Design of damping treatments for plate, New York: ASME Design Engineering Div. 1991. 175 ~ 183
- 3 Spirnak G T. Transaction of ASME. Journal of Engineering Materials and Technology 1990, 112 (3): 277 ~ 279
- 4 Masatosi Shinozak. Spot-weldable vibration-damping composite sheet steel "NONVIBRA" kawasaki steel technical report, 1985(12): 55 ~ 64

The Development of Composite Damping Steel/Glass Sheets Utilizing Special Material

Hu Chuanxin¹⁾ Liu Ying²⁾ Yuan Lihong³⁾

(1) Department of Metallic Materials, Science and Engineering, 2) Department of Thermal Science and Engineering, 3) Department of Basic Science, Beijing Polytechnic University, 100022)

【Abstract】 On the basis of wide study of viscoelastic materials, an investigation on the fabrication of the composite damping steel/glass sheets with two special viscoelastic materials has been made. The composite damping steel/glass sheets are better, in regard to damping and processability, than other types of damping sheets. Thus the focus of the research is on the measurement of the properties of the steel sheets, the damping analysis and the fracture analysis. Then, the calculation formula for critical fracture stress is put forward. The topics mentioned in this paper are very important in the development of new composite steel sheets and the application of engineering.

【Key words】 viscoelastic materials, vibration damping, composite damping steel/glass, sheets