

玻璃纤维芯铅丝(网)/橡胶动态性能影响因素研究

吕丽¹ 白书欣¹ 张虹¹ 王进² 杨军²

(1 国防科技大学航天与材料工程学院,长沙 410073)

(2 株洲新时代材料科技股份有限公司,株洲 412007)

文 摘 设计并制备了以不同橡胶为基体、具有不同界面结合强度的玻璃纤维芯铅丝(网)增强橡胶复合材料(GF/Pb/R),通过比较它们的动态压缩模量和阻尼损耗因子,研究了复合方式、橡胶基体性能和界面结合强度对于GF/Pb/R动态性能的影响。

关键词 玻璃纤维芯铅丝(网),阻尼,动态性能,橡胶复合材料

Factors Influencing Dynamic Properties of Glass-Fiber Cored Lead Wire (Net) Reinforced Rubber Composites

LüLi¹ Bai Shuxin¹ Zhang Hong¹ Wang Jin² Yang Jun²

(1 School of Aerospace and Material Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

(2 Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412007)

Abstract A kind of damping composite made of rubber, glass-fiber and lead is designed. Composites with different matrixes, different structures and different interface bond strengths are prepared. And their dynamic properties are tested under varied conditions. Factors influencing the dynamic properties of rubber matrix composites are discussed, including the composite structure, the rubber properties and the interface bond strength.

Key words Glass-Fiber cored lead wire(net), Damping, Dynamic property, Rubber composite

1 前言

由于生产发展和技术进步的需要,阻尼技术取得了突飞猛进的发展,开发不同的阻尼材料已成为功能材料的重要发展方向。其中,聚合物基复合材料由于具有良好的力学性能和阻尼特性,倍受关注,并且已经在众多工程领域得到了广泛应用^[1]。为了不断改善材料性能,研究人员在复合材料阻尼性能研究方面开展了大量工作^[2-14]。

复合材料中的增强相不仅可以提高基体的力学性能,而且提供了更多的阻尼来源——界面阻尼^[15],具有改善复合材料阻尼性能的作用。增强相的作用不仅与组分材料性能有关,而且受复合结构、界面状态等因素的影响。本文以橡胶为基体、玻璃纤维芯铅丝(GF/Pb丝)和玻璃纤维芯铅网(GF/Pb网)为增强相,制备了不同结构和界面结合强度的复合材料,测试了它们的压缩模量(E)和阻尼损耗因子(η),分析了基体性能、复合方式、界面状态对其动态性能的影响。

响。

2 实验

2.1 材料

丁腈橡胶(NBR)Z5602,天然橡胶(NR)FS053-34B,氯丁橡胶(CR)4501-2。GF/Pb丝,直径0.8 mm,拉伸模量4.5 GPa;GF/Pb网,由GF/Pb丝正交交织而成,经线间距3 mm,纬线间距9 mm。GF/Pb丝(网)表面处理剂:弱碱性脱脂液(a)^[16];偶联剂(b),浙江化工科技集团有限公司产品;胶黏剂(c)和胶黏剂(d),德国Chemetall公司产品。

2.2 阻尼复合材料的制备

以NBR为基体,以未经表面处理的GF/Pb丝和GF/Pb网为增强相,制备纯橡胶样品和增强相体积分数为4%的两种复合材料[短GF/Pb丝增强橡胶复合材料(S-GF/Pb/R)、横向GF/Pb网增强橡胶复合材料(H-GF/Pb/R)],样品尺寸为100 mm×100 mm×40 mm。图1为复合材料样品示意图。

收稿日期:2006-03-08;修回日期:2006-06-06

作者简介:吕丽,1979年出生,博士,主要从事功能材料的研究工作

S-GF/Pb/R:将3 mm 长的 GF/Pb 丝与 NBR 在双辊开炼机中充分混炼,待 GF/Pb 丝在橡胶中均匀分布后,取出胶片并切割成小块后随机放入模具中硫化成型:150℃/70 min,60 MPa。

H-GF/Pb/R:将混炼好的 NBR 切割成横截面为 100 mm × 100 mm 的胶片,然后与 8 层 GF/Pb 网交替铺排,最后一起放入模具中硫化成型,硫化条件同 S-GF/Pb/R。

分别以 NR、CR 为基体,以未经表面处理的 GF/Pb 网为增强相,按照同样的工艺制备 H-GF/Pb/R。

分别用表 1 中的三种方法处理 GF/Pb 丝,并按照 GB3513—83 要求与 NBR 复合制备标准样品,用于检测界面结合强度。同时,用三种方法处理过的 GF/Pb 网分别与 NBR 复合制备 8 铺层结构的 H-GF/Pb/R,用于考察界面结合强度对复合材料性能的影响。

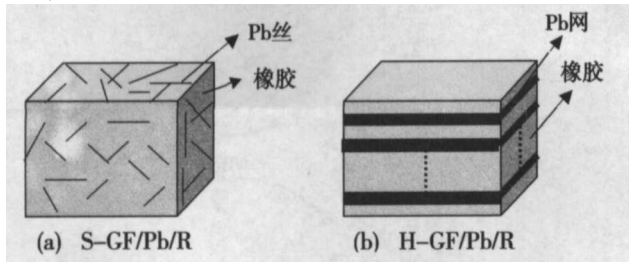


图 1 不同结构的三元橡胶复合材料

Fig. 1 Schemes of GF/Pb-wire and GF/Pb-net reinforced rubber composite

表 1 GF/Pb 网表面处理方法

Tab. 1 Surface treatment methods of GF/Pb net

方法	脱脂时间/min	表面 处理
A	0	不处理
B	6	在 5% (质量分数) b 的丙酮溶液中浸泡 20 min 后,180℃ 烘 10 min ^[17]
C	6	在 c 中浸泡 6 min,取出晾干后,再在 d 中浸泡 6 min,取出晾干

2.3 动态性能检测

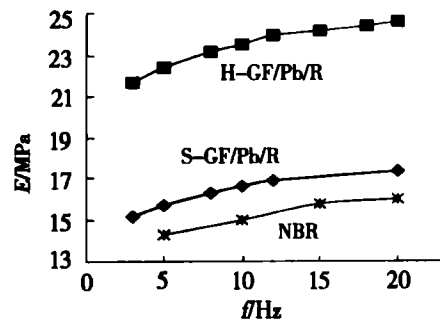
按照 GB3513—83,在 QT/10 材料试验机上检测 GF/Pb 丝从橡胶中抽出的最大载荷,以此表征经不同方法处理的 GF/Pb 丝与橡胶的结合强度。用 Instron 8802 弹性体动态性能实验机测试 S-GF/Pb/R 和 H-GF/Pb/R 在预压变形量 1.5 mm、振幅 0.5 mm 时,不同频率下的力滞回线,计算得到 E 和 η 。测试执行 GB/9870—88 标准,采用正弦垂向载荷循环加载、定位移控制方式。

3 结果与讨论

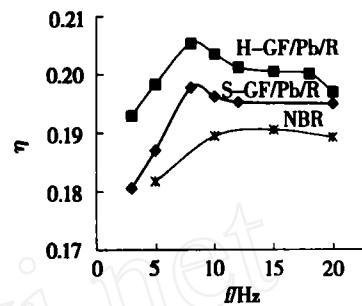
3.1 增强方式对增强效果的影响

图 2 是 NBR、未经表面处理的短 GF/Pb 丝和 GF/Pb 网增强橡胶复合材料的动态压缩性能随频率

变化曲线。



(a) 动态压缩模量



(b) 损耗因子

图 2 S-GF/Pb/R 和 H-GF/Pb/R 的动态压缩模量和损耗因子

Fig. 2 Dynamic compression properties of S-GF/Pb/R and H-GF/Pb/R under different loading conditions

从图 2(a)可以看出,两种复合材料的模量均比橡胶高,H-GF/Pb/R 比 S-GF/Pb/R 的模量高得多。这是因为连续 GF/Pb 丝编织而成的 GF/Pb 网不仅起到了分担大部分外部载荷的作用,而且能够有效地阻碍周围橡胶的变形,产生束缚作用;而短 GF/Pb 丝在橡胶基体内随机分布,分担载荷和束缚作用有限,因此模量较低。

图 2(b)说明,两种复合材料的阻尼性能均比橡胶好,而且随着复合结构的变化而改变。本实验中复合材料的阻尼来源有三:其一,黏弹性基体本身的材料阻尼;其二,GF/Pb 网与橡胶为非理想粘接,在周期性载荷作用下,界面处将产生微滑移,引起界面摩擦耗能阻尼;其三,由于增强相与基体力学性能不匹配,受外力作用后,界面处将出现较大的剪切应力^[18];而 Pb 具有屈服强度低($\sigma_{0.2} \approx 5$ MPa)^[19]、塑性好的特点,Pb 在界面剪切应力作用下发生微观塑性变形,形成变形能耗,为复合材料提供了新的阻尼。无论是界面摩擦耗能还是 Pb 的变形耗能都与界面处的应力大小有关,而材料内的应力分布受到复合结构影响,造成两种复合材料阻尼性能的差异。

3.2 基体性能对增强效果的影响

图 3 是 NR、CR、NBR 及其复合材料(NRC、CRC、NBRC)的动态压缩性能。表 2 是复合材料在 3 ~ 20

Hz 相对于基体的性能提高率。

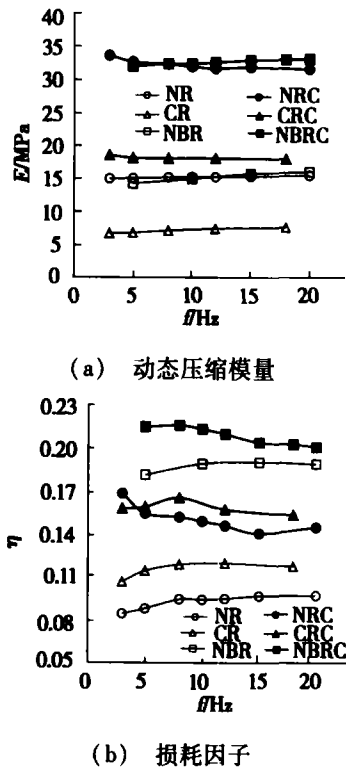


图3 不同橡胶及其复合材料的压缩动态性能
Fig.3 Dynamic compression properties of rubbers and H-GF/Pb/R with different matrix

表2 不同基体的复合材料模量和损耗因子提高率
Tab.2 Increase ratio of modulus and loss factor of different composites

复合材料	提高率 $E/\%$	提高率 $\eta/\%$
NRC	104 ~ 124	45 ~ 98
CRC	136 ~ 177	29 ~ 48
NBRC	107 ~ 124	6 ~ 18

综合图3和表2的结果可以看出,CR的模量较低、NR的阻尼损耗因子较小时,复合材料性能提高率较大,说明基体性能越低,GF/Pb网的增强效果越明显。

3.3 界面结合状况对增强效果的影响

3.3.1 界面结合强度

表3是不同方法处理过的GF/Pb丝与橡胶粘结强度的实验结果。

表3 GF/Pb丝抽出最大载荷

Tab.3 Forces pulling GF/Pb-wire out of NBR

处理方法	最大抽出力/ $10^{-1} N \cdot mm$
A	8.4
B	18.5
C	>30.4

其中,经方法c处理的GF/Pb丝在抽出之前已经被拉断。从结果可以看出,界面结合强度按照方法A、B、C的顺序提高。

3.3.2 复合材料动态性能

图4为H-GF/Pb/R的压缩模量和阻尼损耗因子与频率的关系曲线。可以看出,随着GF/Pb网表面处理方法不同,所对应的复合材料性能提高率也不同。在本实验条件下,GF/Pb网的力学性能增强效果随界面结合强度的提高而提高,而阻尼性能的改善按照弱结合、强结合、中等强度结合的顺序递增。

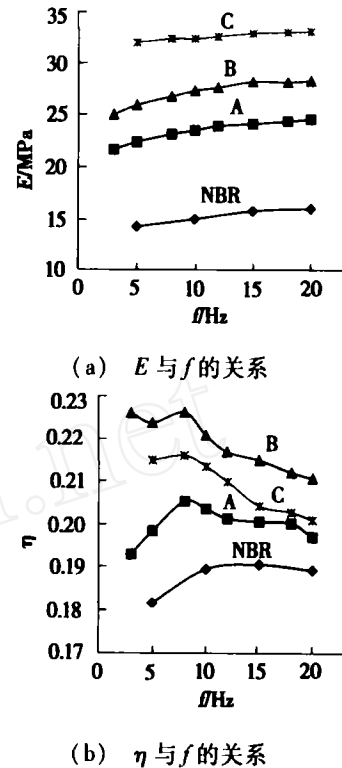


图4 具有不同界面结合强度的GF/Pb网增强橡胶复合材料动态压缩性能

Fig.4 Dynamic compression properties of NBR and H-GF/Pb/R with different interfaces

复合材料中的GF/Pb网是主要的外力承载体,而橡胶基体除了分担部分载荷外,还通过界面剪切应力向GF/Pb网传递载荷^[20]。Chon-Sun运用改进的剪滞法分析了界面模量对复合材料力学性能的影响,当界面模量很低时(表示脱胶状态),界面剪应力非常小^[20]。只有在增强相与基体粘结良好时,载荷才能有效地传递给增强相,使其充分发挥增强作用;随着界面粘结强度的降低,载荷在纤维与基体间的传递效率下降,纤维不能有效地分担载荷,复合材料动态力学性能必然降低。因此,GF/Pb网对复合材料模量的增强效果随着界面粘结强度的提高而提高。

复合材料中引入增强相的同时,带来了界面摩擦阻尼和Pb的微观塑性变形阻尼。界面摩擦阻尼与界面破坏量、界面摩擦系数等因素有关^[21-23],GF/Pb丝与橡胶结合越弱,产生滑移的界面数量越多,由此带来的阻尼损耗越多。Pb的微观塑性变形阻尼与界面处的剪切应力有关,只有界面结合达到临界强度时,才可能在GF/Pb丝与基体间形成足够的剪切力,引

起 Pb 的微观塑性变形。当界面结合非常弱时,GF/Pb 丝与橡胶很容易脱粘,释放能量,产生一定的界面摩擦阻尼,但不会形成微观塑性变形阻尼。当界面结合强度非常高时,界面结合牢固,不会发生微滑移,此时复合材料阻尼仅来自于材料阻尼和 Pb 微观塑性变形阻尼。而界面粘结强度处于中间状态时,既可以产生界面微滑移耗能,又可以形成微观塑性变形耗能,因此,这种条件下的复合材料阻尼性能最高。因为界面滑移阻尼是以牺牲复合材料力学性能为代价的,而结合强度过高,又会损失界面滑移阻尼,所以,界面结合强度处于 Pb 发生微观塑性变形的临界值时最有利于发挥 GF/Pb 网的阻尼增强效应。

4 结论

(1) 横向 GF/Pb 网增强方式比短纤维 GF/Pb 丝增强方式更有利于提高橡胶复合材料压缩和阻尼性能;

(2) 横向 GF/Pb 网增强橡胶复合材料中的基体性能越低,GF/Pb 网对基体性能的改善效果越显著;

(3) GF/Pb 丝与橡胶的界面粘结强度越高,越有利于 GF/Pb 网力学增强效果的发挥;但粘结强度对阻尼的影响呈非线性。综合考虑复合材料的力学和阻尼性能,认为界面结合强度等于 Pb 发生微观塑性变形的临界值时是最佳界面结合状态。

参考文献

- 1 范永忠,孙康,吴人洁. 环氧树脂及复合材料的阻尼性能及在降噪上的应用研究. 材料工程,2000;(3):29~31
- 2 李伟洲,张培强,阮剑华. 低温下纤维增强复合材料的若干影响因素. 中国科学技术大学学报,2000;30(4):393~400
- 3 杨霜,孙康. 混杂纤维复合材料阻尼性能的研究. 纤维复合材料,2002;(1):6~10
- 4 Cheng Fei, Ni Qingqing, Iwamoto et al. Development of glass fabric reinforced SDR damping material and its mechanical behavior. Journal of the Society of Materials Science, 2005; 54(5):481~486
- 5 Naghipour M, Taheri F, Zou G P. Evaluation of vibration damping of glass-reinforced-polymer-reinforced glulam composite beams. Journal of Structural Engineering, 2005; 131(7):1 044~1 050
- 6 Houshyar S, Shanks R A, Hodzic A. The effect of fiber concentration on mechanical and thermal properties of fiber-reinforced polypropylene composites. Journal of Applied Polymer Science, 2005; 96(6):2 260~2 272
- 7 Sharma, Amrish, Peel et al. Vibration damping of flexible and rigid polyurethane composites. International SAMPE Technical Conference, 2004:749~761
- 8 Pothan, Laly A, Potschke et al. The static and dynamic mechanical properties of banana and glass fiber woven fabric-reinforced polyester composite. Journal of Composite Materials, 2005; 39(11):1 007~1 025
- 9 Kyriazoglou C, Guild F J. Quantifying the effect of homogeneous and localized damage mechanisms on the damping properties of damaged GFRP and CFRP continuous and woven composite laminates-an FEA approach. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2005; 36(3):367~379
- 10 丁国芳,石耀刚,张长生等. 丁基橡胶阻尼材料阻尼行为的研究. 功能材料,2004;35(增刊):2 233~2 236
- 11 张忠明,刘宏昭,王锦程等. 材料阻尼及阻尼材料的研究进展. 功能材料,2001;32(3):227~230
- 12 Ratna D, Manoj N R, Chandrasekhar L et al. Novel epoxy compositions for vibration damping applications. Polymers for advanced Technologies, 2004; 15(10):583~586
- 13 Kaneko H, Inoue K, Tominaga Y et al. Damping performance of polymer blend/organic filler hybrid materials with selective compatibility. Materials Letters, 2002; 52:96~99
- 14 Hajime K, Manabu K, Satoshi M et al. Damping properties of thermoplastic-elastomer interleaved carbon fiber-reinforced epoxy composites. Composites Science and Technology, 2004; 64:2 517~2 523
- 15 任勇生,刘立厚. 纤维增强复合材料结构阻尼研究进展. 力学与实践,2004;26(1):9~16
- 16 表面处理工艺手册编审委员会编. 表面处理工艺手册. 上海:上海科学技术出版社,1991
- 17 赵玉庭,姚希曾. 复合材料基体与界面. 上海:华东化工学院出版社,1991:172~186
- 18 He L H, Liu Y L. Damping behavior of fibrous composites with viscous interface under longitudinal shear loads. Composite Science and Technology, 2005; 65:855~860
- 19 曾正明. 实用工程材料技术手册. 北京:机械工业出版社,2001:838
- 20 沈观林. 复合材料力学. 北京:清华大学出版社,1996:103~106
- 21 Hwang S J, Gibson R F. Prediction of fiber-matrix interphase effects on damping of composites using a micromechanical strain energy/finite element approach. Composite Engineering, 1993; 3(10):975~984
- 22 Zhang J, Perez R J, Wong C R et al. Effect of secondary phases on the damping behavior of metals, alloys and metal matrix composites. Material Science Engineering, 1994; 13(8):325~390
- 23 He L H, Liu Y L. Damping behavior of fibrous composites with viscous interface under longitudinal shear loads. Composite Science and Technology, 2005; 65:855~860

(编辑 吴坚)