

含有短切导电纤维聚氨酯泡沫塑料的吸波性能研究

丁文皓 于名讯 朱洪立 王 昶 宋宇华

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 通过对一种含导电短纤维的聚氨酯(PUR)泡沫塑料吸波性能的研究, 探讨了纤维吸收剂的电导率、含量和泡沫塑料试样厚度对 PUR 泡沫塑料吸波性能的影响。结果表明, 在一定范围内, 纤维电导率增大可使 PUR 泡沫塑料对电磁波的损耗增加; 纤维含量增大可增加其谐振子数目, 有利于衰减电磁波; 试样厚度增加可使 PUR 泡沫塑料吸波性能增强, 在 Ka 波段尤为明显。

关键词 聚氨酯 泡沫塑料 纤维吸收剂 电导率 吸波性能

随着微波通信、雷达、航天、电子对抗技术、电磁兼容技术的不断发展及人类对电磁波危害性认识的不断提高, 吸波材料逐渐受到人们的高度重视, 对吸波材料的研究也备受各国关注。就吸波材料的发展来看, 相对各向同性吸收剂, 各向异性的吸波纤维及其复合材料很有发展前途。

纤维吸收剂中以电损耗为主的导电短纤维, 依靠纤维本身的独特性能及其在基体材料中的合理分布, 可以制得具有良好吸波性能的复合材料^[1-2]。以往人们大都采用将导电短纤维与磁性吸收剂混合来进行吸波材料的研究, 而对单一导电短纤维吸收剂的研究较少。笔者通过对一种导电短纤维与聚氨酯(PUR)共混材料的研究发现, 用其制得的 PUR 泡沫塑料对电磁波的吸收性能随着纤维吸收剂的电导率、含量和材料试样厚度的变化而变化。

1 实验部分

1.1 主要原料

硬质 PUR 泡沫塑料组合料: A 料、B 料, 济南金方聚氨酯材料有限公司;

短切导电纤维: A、B、C, 自制。

1.2 仪器及设备

纤维电导率测量装置: 自制;

弓形反射率测试系统: 自制;

浮动式盖板模具: 自制。

1.3 试样制备

按一定配比分别将短切导电纤维 A、B、C 加入到 A 料中, 混合搅拌约 1h(搅拌时间可按纤维含量多少进行调整), 待纤维分散均匀后, 加入与 A 料相同量的 B 料, 高速搅拌 20 s, 在混合料发泡前迅速倒入已预热好的模具中, 控制模具温度 35℃左右, 加压静置 15 min, 室温熟化 24 h。根据实验需要, 将样板裁切成不同规格大小的试样。

1.4 性能测试

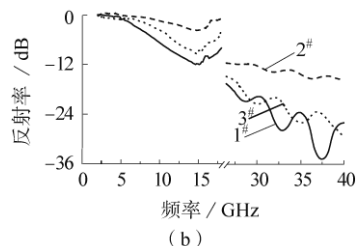
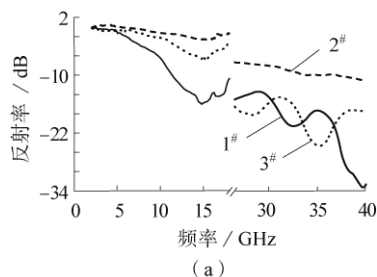
反射率的测量采用 RAM 弓形反射率测试法, 测试系统是利用扫频在 AV1481 信号源和 AV4033A 频谱分析仪上进行测试。测试参照 GJB 2038 - 1994。正方形试样尺寸分别为 180 mm × 180 mm、85 mm × 85 mm, 衬板为光滑铝板, 入射角为 2.5°。

2 结果与讨论

2.1 短切导电纤维电导率对材料吸波性能的影响

在 PUR 泡沫塑料中填充不同规格的同种短切导电纤维, A、B、C 纤维的电导率依次为 1.09×10^5 、 6.33×10^4 、 6.67×10^3 S/m。图 1 为短切导电纤维含量相同(5%)、试样厚度和纤维类型不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线。

从图 1 可以看出, 在 2 ~ 18GHz 范围内 PUR 泡



1#—A 纤维; 2#—C 纤维; 3#—B 纤维

a—试样厚度 2 cm; b—试样厚度 3 cm

图 1 纤维含量相同、试样厚度和纤维类型不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线

沫塑料试样的反射率随着吸收剂短切导电纤维电导率的增大而减小,也就是说 PUR 材料的吸波性能随着吸收剂电导率的增大而增强,而且频率越大,吸收剂电导率对材料吸波性能的影响越明显。在 26.5 ~40.0 GHz 范围内,其反射率大体上还是遵循上述的趋势。

如果极化惯性损耗可以忽略,那么短切导电纤维的介电常数虚部完全由其电导率决定:

$$\varepsilon'' = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} \quad (1)$$

式中: ε'' ——短切导电纤维的介电常数虚部;

σ ——短切导电纤维的电导率;

$\omega = \frac{2\pi f}{c}$, 为角频率, f 为频率, c 为光速;

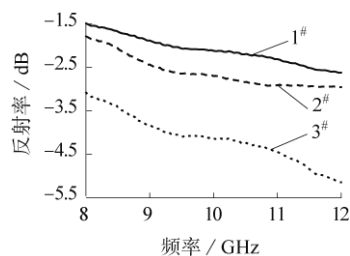
ε_0 ——真空的介电常数。

由式 (1) 可知,短切导电纤维的介电常数虚部和其电导率成正比。也就是说,在一定范围内短切导电纤维对电磁波的损耗与其自身的电导率成正比。

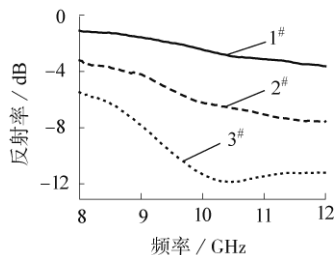
2.2 短切导电纤维含量对材料吸波性能的影响

含有短切导电纤维的 PUR 泡沫塑料是一种介电型损耗材料,出现介电损耗是由于纤维产生的漏电流引起的损耗介质极化形成的弛豫损耗,以及外电场频率同所加导电纤维长度相接近时(半波谐振子)^[3]所产生的谐振损耗。当谐振子含量变化时,意味着改变了谐振子间的距离,从而导致谐振子间距对电磁波的作用呈现多效应。谐振子含量较低时,各谐振子间的相互作用较弱,各谐振子成为相互独立的电偶极子,各谐振子间靠阻抗相互联系,成为多元离散振子阵^[4]。随着材料中导电纤维含量的增加,这些短切导电纤维彼此接触或靠近的几率增加,从而使得材料的介电常数实部随着纤维含量的增加而增大,虚部在临界值内也随导电纤维含量的增加而增大,也就是说在一定含量范围内其损耗值随着纤维含量的增加而增大。

图 2 为短切导电纤维类型相同、试样厚度和纤维含量不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线。从图 2 可看出,在 8 ~12 GHz 范围内,各个频率下 PUR 泡沫塑料试样的吸波性能随着短切导电纤维含量的增加而都有所增强,频率越高,这种趋势越明显。这是因为作为谐振子通过谐振产生感应电流的短切导电纤维含量在一定范围内增加时,谐振子数量增加,对电磁波的损耗增大。将短切



(a)



(b)

1#—纤维含量 1%; 2#—纤维含量 2%; 3#—纤维含量 3%

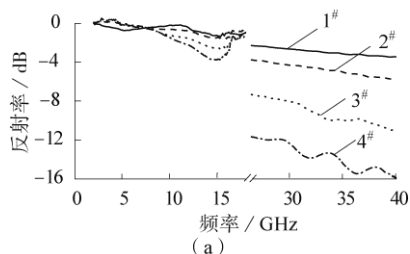
a—试样厚度 2 cm; b—试样厚度 3 cm

图 2 纤维类型相同、试样厚度和纤维含量不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线

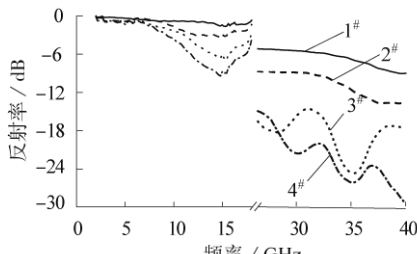
导电纤维含量控制在一定范围内,使 PUR 基体中的纤维距离太近,这些导电纤维接触形成导电网络将会反射电磁波。

2.3 试样厚度对材料吸波性能的影响

图 3 为短切导电纤维含量相同、试样厚度和纤维类型不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线。



(a)



(b)

试样厚度: 1#—0.5 cm; 2#—1 cm; 3#—2 cm; 4#—3 cm

a—B 纤维; b—C 纤维

图 3 纤维含量相同、试样厚度和纤维类型不同时 PUR 泡沫塑料试样的反射率与频率的关系曲线

根据电磁波^[5]理论,当电磁波在导体表面产生

涡流时,在导体截面上的电流分布随着频率的增加而越来越向导体表面集中,这种现象称为趋肤效应。趋肤效应的产生本质上是衰减电磁波向导体内部传播而引起的。趋肤效应越显著,电磁波损耗越多。趋肤深度为:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \approx \frac{1}{\pi f \mu \sigma} \quad (2)$$

式中: δ ——趋肤深度;

α ——衰减矢量;

μ ——材料的磁导率。

由(2)式可知,趋肤深度与频率的平方根成反比,频率越高,趋肤深度越小,趋肤效应越显著,则电磁波损耗越多,反射率的增幅越大。同时,电磁波在 PUR 泡沫塑料中传播时,还可能会产生相位相消现象,即当电磁波直射到材料表面时,一部分被反射,其余部分穿透材料在自由空间与材料间的界面及材料与金属的界面之间来回反射。如果这两种反射波处于同一偏振面上并满足一定条件时,则发生干涉,使总的反射波衰减。

从图 3 可以看出,在本实验的研究范围内, PUR 泡沫塑料试样的吸波性能随着试样厚度的增加而增强,在 Ka 波段尤为明显。

3 结论

(1) 短切导电纤维作为吸收剂其电导率对 PUR 泡沫塑料的吸波性能有较大影响。在一定频率范围内,材料的吸波性能随吸收剂电导率的增大而增强。

(2) 在一定范围内随短切导电纤维含量增加,谐振子数量增加,有利于损耗能量,增强材料的吸波性能。

(3) PUR 泡沫塑料的试样厚度对材料的吸波性能有一定影响。在实验厚度范围内,材料的吸波性能随试样厚度增加而增强,在 Ka 波段尤为明显。

参考文献

- [1] Hatakeyama K, Inni T. Electromagnetic wave absorber using ferrite absorbing material dispersed with short metal fibers[J]. IEEE Transaction on Magnetic, 1984, MAG-20(5): 1261-1263.
- [2] Ahmad M S, Abdelazeez M K, Zihlif A, et al. Some properties of nickel-coated fiber-polypropylene composite at microwave[J]. Journal of Materials Science, 1990, 25(7): 3083-3088.
- [3] 甘永学, 陈昌麟, 李成功. 微波吸收复合材料中镀金属碳纤维的作用机制[J]. 兵器材料科学与工程, 1992, 15(8): 5-9.
- [4] 邢丽英, 刘俊能, 任淑芳. 短碳纤维电磁特性及其在吸波材料中的应用研究[J]. 材料工程, 1998(1): 19-21.
- [5] Vinoy K J, Jha R M. Radar absorbing materials—from theory to design and characterization[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996: 19-41.

STUDY ON ABSORBING PROPERTY OF POLYURETHANE FOAM FILLED WITH CONDUCTIVE SHORT FIBERS

Ding Wenhao, Yu Mingxun, Zhu Hongli, Wang Chang, Song Yuhua

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The influence of the fiber absorber's conductivity, the fiber content and the thickness of foam screed on the foam material's absorbing property was discussed by studying the absorbing property of the polyurethane foam filling with a kind of conductive short fibers. The result showed that the foam material lost more electromagnetic wave with the fiber conductivity increasing in a scale. The increasing of fiber content was good for losing electromagnetic wave by multiplying the resonators. Increasing the screed's thickness could enhance the absorbing property, especially in the Ka-band.

KEYWORDS polyurethane, foam material, fiber absorber, conductivity, absorbing property

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为作好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志和“工程塑料网”(www.epa1973.com)网站已开设“技术转让与合作”栏目,以方便买卖双方的有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等方面。另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿!投稿时请加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址:济南市 108 信箱杂志社(250031) 电话:0531-85878057 传真:0531-85878224 E-mail:epa@epa1973.com