

新型吸波材料研究

吴晓光 费肖卿 车晔秋 张虹

(材料科学和应用化学系)

摘要 本文是以SiC为基体的新型吸波材料的研究报告。通过几十个方案, 100多个涂层试件的试验, 在扩展频带方面采取了各种措施。有的试件使吸收10db以上的范围达到7GHz以上, 20db以上的范围达1.4到1.5GHz。涂层厚度约2mm, 比重小于4。

关键词 SiC, 电波吸收材料

1. 前言

隐身技术用吸波材料研究是有重要意义的。隐身技术是一项复杂的综合性技术。通过对外形设计、电子对抗、吸波材料应用等多种手段相互配合, 使飞机、导弹、舰船、车辆等不反射或少反射雷达波, 提高武器的生存能力和突防能力。

隐身飞机和导弹在国外已有迅速发展。美国在B-52的基础上研制了B-1和B-1B轰炸机, 使雷达散射截面达到B-52的1%。美国担心随着现代防空能力的提高, 认为给空军配备的B-1B轰炸机将难以完成战略轰炸任务, 因而又开始研究更新型隐身轰炸机, 使雷达散射截面只有B-1B轰炸机的十分之一。这一计划将在1991年完成, 日本和英国也积极地进行研究。

在吸波材料研制方面, 广泛开展了吸收剂、吸波涂层、结构吸波材料和导电复合体等方面的研究。对吸收剂的研究, 目前日本处于领先地位, 已有系列化产品。我国对吸收剂的研究已进行了多年, 在铁氧体、超微粒子和SiC等方面均有不同程度的进展。

研制微波吸收材料的技术关键是寻找宽频带内吸波性能好的材料。寻找材料需要在正确可靠的理论指导下才能奏效, 即需要对电磁波与吸收材料相互作用机理深入地进行研究。借助固体物理、电介质物理对材料微观特性进行详细研究, 才能寻找出新型高效吸波材料。

根据日本的资料^[1]介绍, 通过纯度极高的原料进行高温烧结生产出几乎不含任何杂质的SiC粉末, 在很宽的频带内具有很好的吸波性能。但这种途径耗资多, 难度大。另一种是苏联等国研究吸波材料的途径^{[2][3]}, 它是用已有的原材料或稍加改性, 寻求最

佳混成物,即采用不均匀的两组分和多组分的材料,通过不同配方得到高效微波吸收材料。在我们的研究中对前一种经过提纯的粉末进行了一些测试,更多地是对后一种方法进行了大量的试验。

2. 微波吸收涂层的吸收原理分析[4][5]

材料的复相对磁导率 $\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$, 复相对介电常数 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ 。对于吸收剂的要求,希望 μ_r'' 和 ϵ_r'' 要大。但作为涂层,并不是 μ_r'' 和 ϵ_r'' 越大越好。如图 1 所示,其厚度为 d 的涂层,涂敷在金属板(铝板)上。假设平面电磁波垂直入射,其输入阻抗 z 可

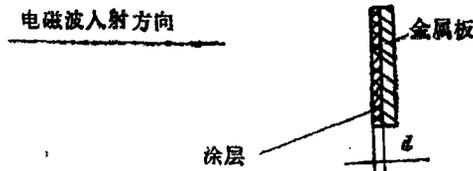


图 1

用下式表示:

$$z = z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(j \frac{2\pi f d}{c} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right) \quad (1)$$

无反射的条件是反射系数 R 为零。即 $R = \frac{z-1}{z+1} = 0$ 此时, $z=1$ 。

为此需涂层材料的参数 ϵ_r 、 μ_r 和涂层厚度 d 在对应的频率 f 下满足下式:

$$\tanh\left(j \frac{2\pi f d}{c} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right) = \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\mu_r}} \quad (2)$$

式中 c 为真空中的光速。通过材料参数 (μ_r , ϵ_r) 的筛选和厚度 d 的设计在多种频率下都能满足上式是困难的。

我们将式(2)编成可用的计算机程序,进行了各种数据的筛选[6]。将应用短路——开路法测得的 ϵ_r 和 μ_r 数据进行比较,对材料选择和吸收机理分析是有重要意义的。

3. 测试方法

我们研究的是以SiC为基体的吸收剂,是以涂层试件的形式进行测试的。将吸收剂用胶搅拌均匀后涂敷在 $180 \times 180 \text{mm}^2$ 的铝板上。采用多种方案,制作了100多个试件进行筛选,结果表明有些方案是可取的。

当前,应用的测试方法有:波导驻波法,空间驻波法,魔 T 法,收发分制法和样板移动法等。我们采用的是样板移动法。原理如图2所示。

当电磁波垂直入射到样板表面,样板为金属板时产生全反射,若样板是有涂层的金属板,则垂直入射到涂层表面的电磁波能量一部分被材料吸收而衰减,余下的反射回来

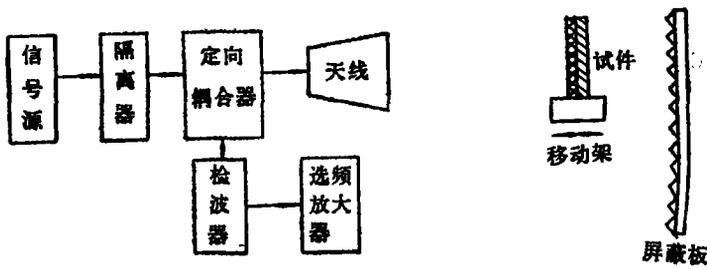


图2 测试原理图

被天线接收。当前后移动样板时，两种情况均能在选频放大器上分别读到一个最大值和最小值。根据下式便可计算出反射率：

$$R_{(db)} = 10 \lg \left(\frac{I_{Tmax} - I_{Tmin}}{I_{Jmax} - I_{Jmin}} \right)^2 \quad (3)$$

式(3)中 I_{Tmax} 、 I_{Tmin} 、 I_{Jmax} 、 I_{Jmin} 分别为样板移动时最大和最小电流值(μA)。下标 T 、 J 分别表示涂层和金属。

4. 测试结果和分析

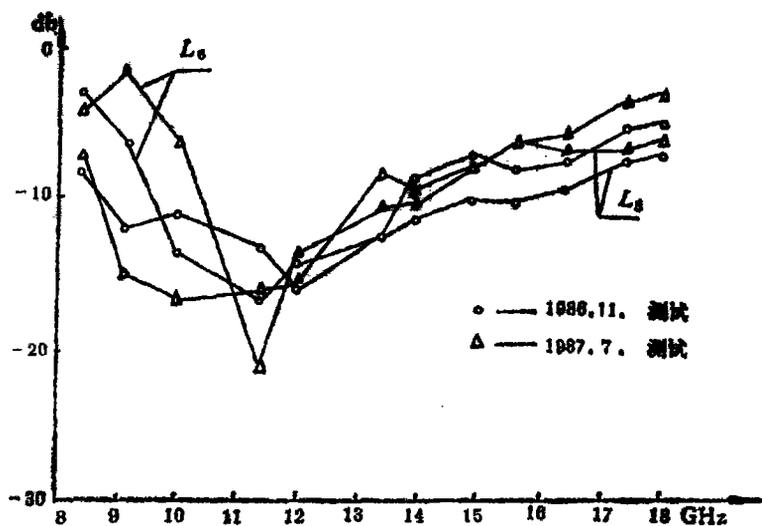
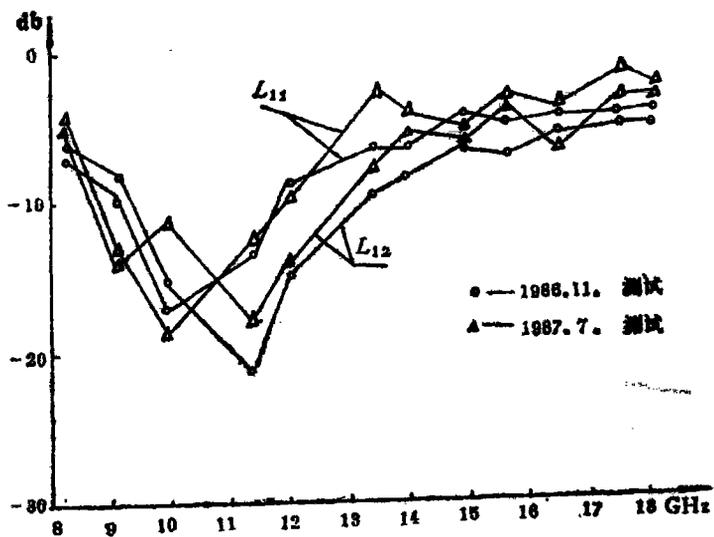
在 100 多个试件中，选择如下一些试件的测试结果列于附表和绘于图 3 ~ 图 6 中。

其中 L_5 试件在波长 2—3cm 范围内衰减大于 10db 的频宽 (8.7~16GHz) 为 7GHz 以上 (见图 3)。 L_{14} 和 L_{32} 试件衰减大于 20db 的频宽 (11.6~13GHz 和 13.8~15.3GHz) 为 1.4 和 1.5GHz (见图 5 和图 6)。试件中 (如 L_{14}) 最大衰减为 27.04db。

本次研究着重于扩展频带。采用多种 SiC 及其混成物使频带扩展到一定的范围还是可能的。过去曾指出过，SiC 的种类繁多，其结果从理论上讲千差万别，目前已测出的才几十种，再加上杂质和其他混成物的不同，均会引起不同频带上吸波性能的差异。我们认为详细研究多种材料的微观结构是个十分重要的问题。采取适当的措施就可以人为地改变吸波最佳的频率点，也就达到了扩展频带的目的。

除材料本身的影响以外，涂刷工艺有重要影响。为了实现工艺上的重复性，按着比较好的 L_5 配方，重复制作了一些试件，如 L_6 、 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{31} 、 L_{32} 。其中 L_5 和 L_6 试件是同一锅料等分后涂敷在两块铝板上的。其厚度基本相同，但吸波性能有明显差别。这是由于涂刷过程中不可避免地产生多种成分的不均匀性及颗粒在胶中所处的位置和状态的不均匀性，导致吸收体成分的分布、密度和孔隙度不同造成的。受设备条件限制，采用落后的手工涂刷方法，使最佳的吸收频率点与预计的相符合是困难的。也就很难人为地进行扩展频带控制，这给吸波涂层研究造成很大困难。 L_{11} 、 L_{12} 和 L_{31} 、 L_{32} 是同一配方，分别搅拌后制作的。由于厚度控制得不好， L_{11} 、 L_{12} 偏厚，而 L_{31} 、 L_{32} 偏薄 (见附表)。因此，前者吸收峰向低频方向移动 (见图 4)，后者向高频方向移动 (见图 5)。这点和理论分析是一致的。

为了验证涂层的老化性能，对上述试件在 1986 年 11 月和 1987 年 7 月分别进行两

图3 L_5 配方试件测试曲线图4 同 L_5 配方试件测试曲线

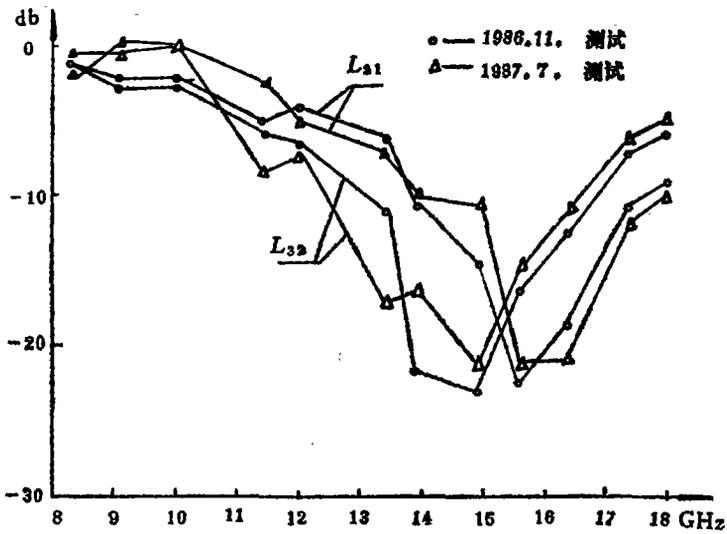


图 5 同 L_5 配方试件测试曲线

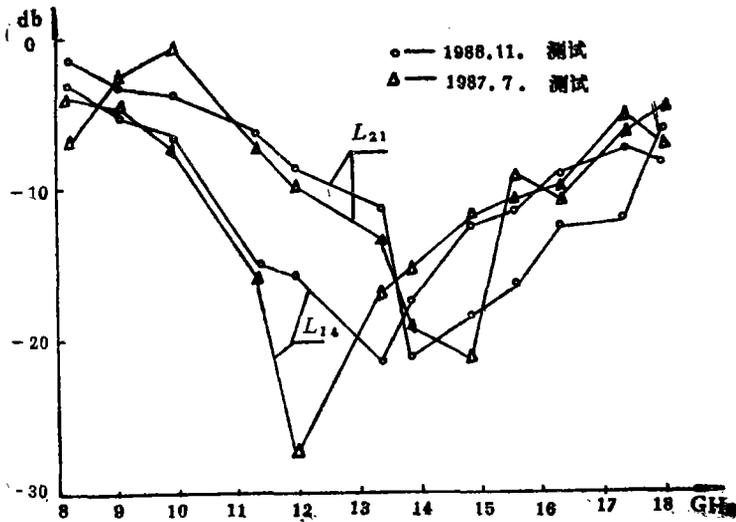


图 6 不同 L_5 配方试件测试曲线

次测试，其结果列于附表。从测试数据可见，个别测试点的数据产生某些变化，但总的规律没有变化。这可能是测试偏差，不可能是涂层老化变质。

总之，吸波材料研究不光是寻找高效吸收剂（当然吸收剂是首要的），而是要研究制成高效吸收性能的并且重复性好的制品。涂层研究，结构型复合吸收体研究均有工艺问题，因此工艺研究也是个十分重要的课题。

5. 结 论

1. 适当选择材料和采取一定的措施, 可以使吸收频带明显扩展。
2. 对材料微观特性需要详细研究, 掌握微观结构对选材有重要意义。
3. 研究涂层工艺十分重要, 其稳定性直接影响试件的重复性。

参 考 文 献

- [1] 超高性能吸收电波材料, 参考消息, 1984, 4.16
- [2] Ю.К. 科夫涅里斯特, 微波吸收材料, 科学出版社, 1985
- [3] Ковнеристий Ю.К.—Физика и химия 06 ра 6. Материалов, 1970, No.6, С139—140
- [4] 内藤喜之, フォライトを用いた电波吸收体. エレクトロニク・セラシクス, 73.6.
- [5] 内藤・他. 电波吸收体 プムフ ライトへのカーボン添加效果, 电子通信学会论文志 86/3 V₀₁J₆₉—CNo3
- [6] 梁健端等, 吸波涂层设计计算机程序, 国防科大五系资料。

A New Type of Wave Absorbing Material

Wu Xiaoguang Fei Xiaoqing
Che Yieqiu Chang Hoag

Abstract

This is a research paper on a new type absorbing material used SiC as a matrix. After many designed experiments with more than one hundred wating's, many methods having been used in expanding the frequency band, one wating's absorption has achieved more than 10db with the absorbing width being 7-8 GHz. The coating thickness is about 2 milli-meters and the specific gravity is less than 4 .

KEY WORDS Microwave, Absorbing material, SiC matrix, Wave absorbing material

