第 14 卷 第 3 期 复 合 材 料 学 报 Vol. 14 No. 3
1997 年 8 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA August 1997

PZT 对 Ni-Zn 铁氧体衰减电磁波能力的影响

陈家钊 黄婉霞 涂铭旌 刘 颖 毛 健
(四川联合大学金属材料系, 成都 610065)

摘 要 研究了 Ni-Zn 铁氧体与锆钛酸铅 PZT 复合材料在 1～1000MHz 范围内对电磁波的衰减情况。结果表明, PZT 由于具有铁电性与铁磁性共存特点, 在 1～1000MHz 范围内有较好的吸波能力。在 Ni-Zn 铁氧体中添加 PZT 后可提高 Ni-Zn 铁氧体在 100MHz 以下频段对电磁波的衰减能力, 在> 100MHz频段后则降低对电磁波的衰减能力。

关键词 铁电铁磁复合材料, 电磁波, 衰减常数
中图分类号 TB39

复合材料由于其性能的可调性正得到广泛的应用。在电磁屏蔽研究领域, 由于反射易造成系统内部干扰等不利影响, 对某些材料的性能要求, 已由过去的高反射调整为高吸收低反射。本文中利用铁电材料具有较大电滞损耗的特点, 将其与具有较大磁滞损耗的铁磁材料复合, 使该复合材料兼具两种材料的损耗特点, 提高和调整单一铁磁材料在一定频段内对电磁波的衰减能力, 从而获得具有不同程度电磁损耗的新型电磁屏蔽复合材料。这一思路, 在微波隐身材料领域, 已有研究报道[1, 2], 但在电磁屏蔽领域尚未查见文献报道。本文旨在 1～1000MHz 频率范围内, 研究铁磁材料 Ni-Zn 铁氧体中添加铁电材料 PZT 所制成的复合材料的电磁特性, 及其对电磁波衰减能力的影响。

1 实验方法

将 Ni-Zn 铁氧体和锆钛酸铅 PZT 分别用 QM-1F 高能球磨机研磨成 240 目的粉末, 按不同配比将两者均匀混合, 用环氧树脂粘结并压制成所需的测试样品。对测定介电常数的试样, 其两底面涂以银浆料固化后得到电极。试样的成分配比见表 1。

用 HP4191 型阻抗分析仪测定频率为 1～1000MHz 范围的复磁导率和复介电常数。

表 1 试样成分配比

试 样 代 号	B1	B2	B3	B4	B5
PZT / Ni-Zn 铁氧体	0∶1	1∶2	1∶1	2∶1	1∶0

本文于 1996 年 7 月 15 日收到修改稿, 1996 年 1 月 19 日收到初稿。国家教委重点科学技术项目

2 实验结果与分析

2.1 电磁参量测试结果

不同成分配比复合材料在 1～1000MHz 范围内的复磁导率 μ' 和 μ'', 复介电常数 ϵ' 和 ϵ'' 分别列入表 2 与表 3。

表 2 不同配比复合材料的复磁导率

f/MHz	B1		B2		B3		B4		B5	
	μ'	μ''	μ'	μ''	μ'	μ''	μ'	μ''	μ'	μ''
1	14.01	1.58	13.18	1.98	9.26	1.04	8.39	1.23	11.97	2.97
3	21.57	0	24.20	0	18.52	0	17.05	0	25.81	0
5	17.48	0	18.69	0	13.96	0	12.54	0	18.78	0
10	13.88	0	13.51	0	9.72	0	8.25	0	12.06	0
30	11.98	0.23	10.86	0.26	7.45	0.25	6.19	0.22	8.59	0.28
50	12.07	0.48	11.01	0.47	7.66	0.43	6.31	0.25	8.73	0.09
100	12.11	1.22	10.98	0.81	7.66	0.63	6.30	0.46	8.67	0.05
300	11.15	3.33	10.39	2.05	7.32	1.20	6.18	0.66	8.82	0.05
500	10.75	4.88	10.25	2.81	7.25	1.64	6.26	0.90	9.32	0.08
800	9.91	9.04	10.80	4.68	7.58	2.61	6.81	1.51	10.97	0.14
1000	6.58	12.83	11.26	7.09	7.95	3.76	7.49	2.29	13.33	0.25

表 3 不同配比复合材料的复介电常数

f/MHz	B1		B2		B3		B4		B5	
	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
1	14.64	1.46	22.52	1.35	28.42	3.69	36.63	4.03	99.74	5.99
3	29.83	0	34.22	0.21	41.85	0.36	47.75	0.48	110.03	4.18
5	22.07	0	28.19	0.28	34.46	1.02	40.75	1.67	100.98	5.55
10	16.70	0.17	23.24	0.56	29.04	1.19	35.47	1.70	93.68	6.37
30	14.32	0.43	20.89	0.75	26.15	1.33	32.36	1.75	97.62	6.12
50	14.32	0.48	20.84	0.77	25.89	1.19	32.00	1.63	91.18	6.31
100	14.14	0.50	20.57	0.74	25.77	1.08	31.46	1.51	98.66	6.58
300	13.92	0.56	20.34	0.79	25.09	0.96	30.90	1.42	106.85	6.77
500	13.87	0.68	20.48	0.99	25.25	1.06	31.16	1.60	108.01	7.97
800	13.88	0.92	20.99	1.33	25.97	1.46	32.44	2.14	112.42	9.73
1000	13.93	1.10	21.49	1.88	26.74	1.92	33.64	2.79	114.16	12.76

由表 2 和表 3 可知, 复合材料的电磁参数呈可调性, 且复合材料兼具有两种单体材料高磁损耗与高介电损耗的特点。

2.2 复合材料对电磁波的衰减曲线

根据电磁波在介质中的 Helmholz 方程[3]

$$\therefore^2 E + K^2 E = 0 \tag{1}$$

$$\therefore^2 H + K^2 H = 0 \tag{2}$$

$$K = W \quad \mu\epsilon \tag{3}$$

式中 $K = \beta - j\alpha$, α 为衰减常数, 它反映了材料对电磁波的衰减吸收能力。将 $\mu = \mu' + i\mu''$, $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ 代入(3)式, 可得介质衰减常数 α 与复介电常数(ϵ'、ϵ'')、复导磁率(μ'、μ'')及频率 f 之间的关系式

$$\alpha = \sqrt{2}\pi f\{[(\mu''\epsilon'' - \mu'\epsilon')^2 + (\mu'\epsilon'' + \mu''\epsilon')^2]^{\frac{1}{2}} + (\mu''\epsilon'' - \mu'\epsilon')\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

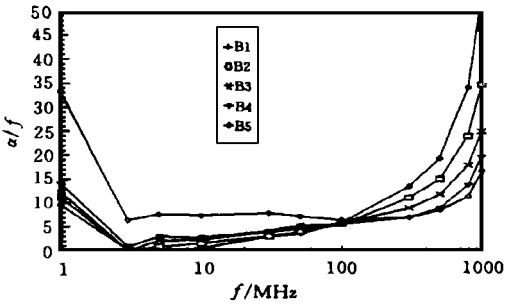

图 1　不同配比下 α/f 与 f 关系

将 2.1 中所得的电磁参量测试结果代入(4)式, 计算得不同配比复合材料对电磁波的衰减常数 α 随频率 f 的变化规律, 见图 1。

3　PZT 对 Ni-Zn 铁氧体衰减电磁波能力的影响

Ni-Zn 铁氧体是一种典型的铁磁材料, 在电磁波作用下, 它具有磁滞损耗、涡流损耗、共振损耗等, 这些损耗随电磁波频率的增大而增大[7]。由表 1、表 2 可知 PZT 是一类兼具铁电损耗和铁磁损耗的材料, 按铁电材料观点, 这类材料有重要的作用, 这是由于它的微观结构既具有铁电畴, 也具有铁磁畴, 其铁电晶格(铁电畴)在磁化时, 能在局部形成排列整齐的磁畴, 因而除在交变电场作用下可引起电滞损耗外, 在交变磁场作用下, 又可产生磁滞损耗, 其损耗能力随电磁波频率的变化规律不同于 Ni-Zn 铁氧体(见图 1 中曲线 B1 与 B5)。将这两种单体材料复合, 在不同的频段, 将显示出对电磁波不同的衰减能力。

从图 1 可以看出, 单一的 Ni-Zn 铁氧体在 1～1000MHz 范围对电磁波的衰减能力随频率增加, 先缓慢增加, 后急剧上升, 但它在 100MHz 以下对电磁波的衰减能力低于单一的 PZT。向 Ni-Zn 铁氧体中添加 PZT, 可在 100MHz 以下提高 Ni-Zn 铁氧体对电磁波的衰减能力, 而且随 PZT 添加量的增加而增大, 见图 1。这是因为铁电材料 PZT 具有较大的电滞损耗, 且具有一定磁滞损耗, 当与铁磁材料 Ni-Zn 铁氧体复合后, 使复合体兼具有两种损耗的特点, 从而提高 Ni-Zn 铁氧体在此频段内对电磁波的衰减能力, 弥补了单一 Ni-Zn 铁氧体在中低频段吸波能力较差的弱点。PZT 添加量愈多, 其衰减能力愈强, 但始终介于两单体材料之间。

但是, 在 100MHz 工作频段以上, 添加 PZT 却使 Ni-Zn 铁氧体对电磁波的衰减能力下降。PZT 添加量多, 其衰减能力愈下降, 始终介于两单体材料衰减能力之间。这是由于随着频率的增加, Ni-Zn 铁氧体除磁滞损耗外, 其它损耗方式(涡流损耗、共振损耗等)显著增大, 成为衰减电磁波的主要矛盾方面, 使其本身对电磁波的衰减能力大大增加, 而 PZT 的损耗能力相对来说对频率的响应缓慢, 不及 Ni-Zn 铁氧体强所致。

4　结　　论

对 Ni-Zn 铁氧体添加 PZT, 可提高其在 100MHz 以下频段对电磁波的衰减能力, 但在 > 100MHz的更高频段内, 则呈降低 Ni-Zn 铁氧体对电磁波衰减能力的趋势。

参　考　文　献

1　朱天社, 徐毓龙, 郑茂盛, 等. FFP 复合吸波材料的研究. 功能材料, 1994, 25 增刊: 776～778

2　Yamamoto T, Chino M, Tanaka R. Evaluation of ferroelectric/ferromagnetic composite by micro-composite designing.

Ferroelectrics, 1989, 95: 175～178
3 黄新娣. 工程电磁场. 北京: 人民邮电出版社, 1990. 230～231
4 华南工学院. 压电陶瓷. 北京: 国防工业出版社, 1979. 62～74
5 (日) 田中暂郎编, 陈俊彦, 王余君译. 压电陶瓷材料. 北京: 科学出版社, 1982. 53～61
6 莱因斯 M E, 格拉斯 A M. 铁磁体及有关材料原理应用. 北京: 科学出版社, 1989. 391～393
7 张有纲, 黄永杰, 罗迪民. 磁性材料. 成都: 成都电讯工程学院出版社, 1988. 113～115

EFFECT OF PZT ON ATTENUATION ABILITY OF Ni-Zn FERRITE

Chen Jiazhao Huang Wanxia Tu Mingjing Liu Ying Mao Jian
(Department of Metal Material, Sichuan Union University, Chengdu 610065)

Abstract The attenuation ability in the range 1～1000 MHz of composite consisting of PZT and Ni-Zn ferrite was studied. It was found out that PZT is a kind of material that is both ferroelectric and ferromagnetic, so its attenuation ability is good. The attenuation ability of composite consisting of PZT and Ni-Zn ferrite is greater than that of Ni-Zn ferrite in the range below 100 MHz, which is not to be found in the range of 100～1000 MHz.

Key words ferroelectric and ferromagnetic composite, electromagnetic wave, attenuation constant

(上接第 31 页)

复合材料与其它材料尤其是与木材的并用或者复合化, 可以认为会使上述的成功更有把握。

以下介绍复合材料在不同用途方面 95 年(实绩)、96 年(推定) 和 97 年(预测) 的需要情况。

表 1 美国复合材料按用途区分的需要动向 单位: 千吨

用 途	1995 年(实绩)		1996 年(推定)		1997 年(预测)	
陆地运输	444.8	[4.1]	452.3	[1.7]	453.5	[0.3]
建 筑	285.1	[5.0]	296.8	[4.1]	301.6	[1.6]
耐蚀设备	178.7	[4.9]	172.6	[- 3.4]	183.1	[6.1]
舟艇船舶	168.5	[3.2]	166.7	[- 1.1]	163.8	[- 1.7]
电气电子	142.6	[5.3]	144.4	[1.3]	147.8	[2.4]
消费器材	83.4	[5.0]	88.0	[5.5]	93.9	[6.7]
家电办公	75.5	[3.6]	80.1	[6.1]	78.4	[- 2.1]
其 他	48.3	[4.7]	48.6	[0.6]	51.1	[5.1]
航空宇航	10.7	[- 1.0]	10.7	[0.0]	10.9	[1.9]
合 计	1437.6	[4.4]	1460.2	[1.6]	1484.1	[1.6]

出处: SPI (产量以 1 lb = 453 g 换算); 包含FRTP 的产量; [ ] 内增减%

在 SPI 资料中, 统计复合材料产量时, 基体树脂包括不饱和聚酯树脂、环氧树脂等热固性树脂, 同时包括尼龙及聚烯烃等热塑性树脂, 增强体则指玻璃纤维(GF)、碳纤维(CF)、芳族纤维(AF) 等。

(下转第 48 页)