

文章编号: 1004 - 0609(2004)01 - 0033 - 04

闭孔泡沫铝的电磁屏蔽性能^①

凤 仪¹, 郑海务¹, 朱震刚², 陶 宁³

(1. 合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009;

2. 中国科学院 固体物理研究所 内耗和晶体缺陷开放实验室, 合肥 230032;

3. 中国科学技术大学 化学物理系, 合肥 230026)

摘 要: 采用粉末冶金发泡法制备闭孔泡沫铝, 通过调整发泡剂含量、发泡温度、粘度、保温时间等手段, 制得孔隙率可调、孔洞分布均匀的闭孔泡沫铝样品, 并测试了不同孔隙率、孔径泡沫铝样品的电磁屏蔽性能。结果表明: 在 100~1000MHz 内, 泡沫铝的电磁屏蔽性能在 60~90dB 之间, 且随着孔隙率、孔径的增加, 泡沫铝的电磁屏蔽性能下降。

关键词: 闭孔泡沫铝; 孔隙率; 孔径; 电磁屏蔽

中图分类号: TB339

文献标识码: A

Electromagnetic shielding effectiveness of closed-cell aluminum alloy foams

FENG Yi¹, ZHEN Hai-wu¹, ZHU Zhen-gang², TAO Ning³

(1. School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Laboratory of Internal Friction and Defects in Solids, Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230032, China;

3. Department of Chemical Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Aluminum alloy foams are prepared by powder metallurgical method. The structure of aluminum alloy foams can be controlled by process parameters (the amount of foaming agent, heating temperature, melting time etc). The electromagnetic shielding effectiveness of aluminum alloy foam was measured as a function of cell size and porosity. The results show that the aluminum alloy foam exhibits high shielding effectiveness (from 65 to 90dB) when the frequency is between 100 and 1000MHz. The electromagnetic shielding effectiveness of aluminum alloy foams decreases with the increase of porosity and cell size.

Key words: closed-cell aluminum alloy foam; porosity; cell size; electromagnetic shielding effectiveness

在现代通信、自动控制和计算机技术领域, 集成电路和大规模集成电路的广泛使用以及整机电路日益小型化、复杂化, 使电子设备的体积大为缩小, 大量的单元印制电路安装在较小的机腔内, 因而相互之间干扰的可能性大为增加, 由此产生一

种新的公害即电磁波干扰。电磁干扰的危害主要表现在: 电磁辐射会影响人们的身体健康, 并且会对周围的电子仪器设备造成严重干扰, 使它们的工作程序发生紊乱, 产生错误动作; 另一方面, 电磁辐射会泄露信息, 使仪器无信息安全保障。从电磁辐

① 收稿日期: 2003 - 03 - 25; 修订日期: 2003 - 06 - 05

作者简介: 凤 仪(1964 -), 男, 教授, 博士, 博士生导师。

通讯作者: 凤 仪, 教授; 电话: 0551 - 3423150; E-mail: fy123@mail.hf.ah.cn

射的防护措施来看,可分为屏蔽、隔离和吸收等方式,但通常以屏蔽方式为主^[1]。

泡沫金属是近年来兴起的一种新型电磁屏蔽材料,与传统的网材相比,其屏蔽效能高,能满足理想的精密仪器和设备的屏蔽需要。与板材相比,它质量轻、耐候性强、易于安装,是建造电子装备室的上乘材料^[2-4]。为此,本文作者研究了用粉末冶金发泡法制备的泡沫铝样品的电磁屏蔽性能,探讨了微结构(孔径和孔隙率等)对泡沫铝电磁屏蔽性能的影响。

1 实验

闭孔泡沫铝制造的工艺流程如图1所示。将原料粉(Al粉、TiH₂粉、Si粉等)混合,然后将其压实成致密预制件,将压实的致密件放入钢模中,加热到接近于或高于铝合金的熔点温度,此时铝合金开始部分熔化,同时均匀分布于预制件中的TiH₂分解,缓慢释放出氢气,使预制件膨胀,当其膨胀至近成品零件时,将钢模取出,让其迅速冷却,就可得到所需孔隙率的泡沫铝样品^[5, 6]。与液相发泡法^[7, 8]相比,粉末冶金发泡法具有以下优点: 1) 在加热之前TiH₂在预制件中已均匀分布,这样可保证孔洞的均匀性; 2) 只要将预制件放入一定形状的模具中加热、发泡,就可加工具有特定形状的多孔制品。

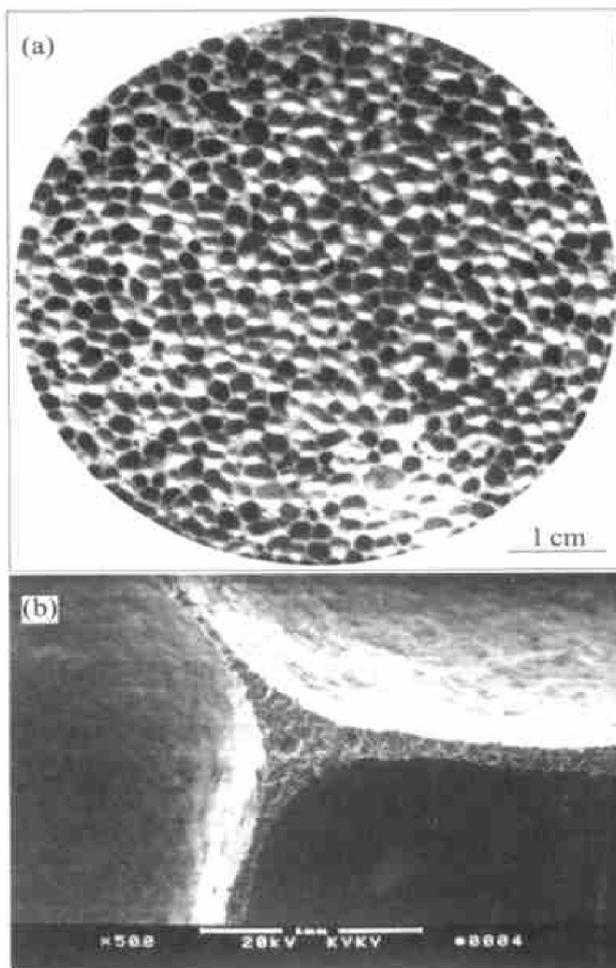


图2 泡沫铝的显微组织

Fig. 2 Micrographs of aluminum alloy foams
(a) —Low magnifying micrograph of cells;
(b) —SEM micrograph of joint of cell walls

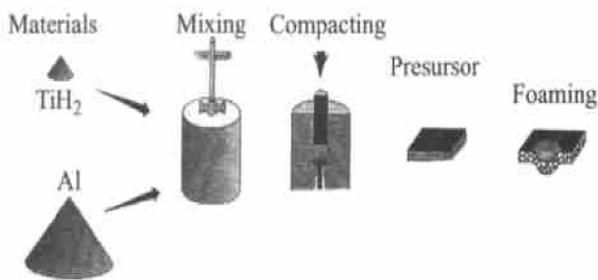


图1 粉末冶金法制备闭孔泡沫铝的工艺流程图

Fig. 1 Schematic diagram of powder compact melting process

图2所示为采用粉末冶金发泡法制得的闭孔泡沫铝样品,从图2(a)中可见,孔洞基本呈多边形,且孔洞大小、分布均匀。图2(b)显示了泡沫铝孔壁的结构特征,可见孔壁连接处为三角形,除连接点处,其余部分厚薄基本均匀。

泡沫铝的电磁屏蔽性能采用图3所示的电磁屏蔽测试仪测量。泡沫铝试样为直径126mm的圆盘,测量在电子部16所进行。

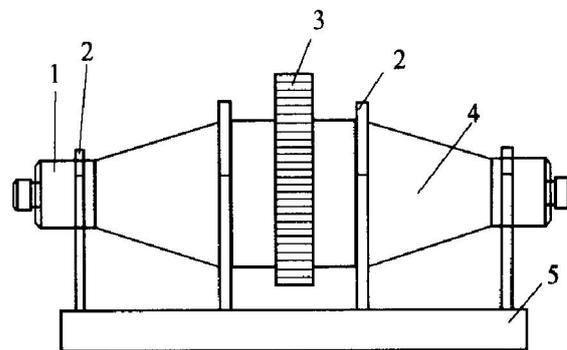


图3 法蓝同轴测试装置示意图

Fig. 3 Schematic drawing of apparatus used for electromagnetic shielding test

1—Coaxial connector; 2—Bracket;
3—Block nut; 4—Shell; 5—Base

2 结果与讨论

2.1 频率对泡沫铝电磁屏蔽性能的影响

图4所示为孔隙率 θ 为84%,孔径 d 为1.5mm,厚度 h 为1cm的泡沫铝的屏蔽曲线。由图4

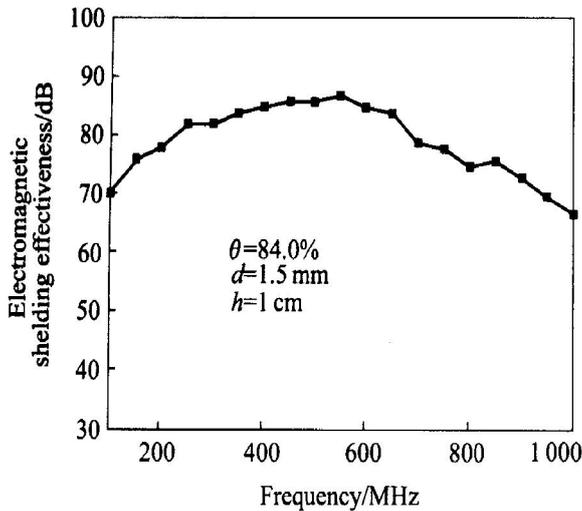


图 4 频率对泡沫铝电磁屏蔽性能的影响

Fig. 4 Influence of frequency on electromagnetic shielding effectiveness of foams

可知, 在 100~ 1000MHz 内, 泡沫铝屏蔽效能在 65~ 90dB 之间, 屏蔽效果良好。当电磁波的频率增大到 400~ 500MHz 时, 由于电磁波的穿透能力增强, 屏蔽性能大体上有下降的趋势, 但总体上保持在较高的水平, 这既不同于普通丝网的明显下降, 又不同于实心金属板的明显上升, 这也正是屏蔽材料在频率特性方面所追求的^[9]。

当电磁波入射到厚度为 t 的金属板的第一分界面上, 由于波阻抗的突变, 电磁波一部分被反射, 剩余部分透过界面进入金属板内, 电磁波在金属板内传播会产生一部分能量衰减。当透射波到达第二分界面时, 又要产生反射, 只剩一小部分透过第二界面进入被屏蔽空间。在上述过程中, 我们把电磁波刚进入金属板时, 被反射的电磁波能量称为反射损耗, 而透射波在金属板内传播过程中被衰减的那部分称为吸收损耗。在第二界面上被反射的电磁波回到第一界面上, 将再次产生反射, 如此循环往复, 直到能量全部被衰减。电磁波在两个分界面之间多次反射的现象, 就是电磁屏蔽中应考虑的多重反射损耗。

根据 Schelkuniff 理论, 屏蔽材料的屏蔽效果 (S_E) 可表示为^[10]:

$$S_E = A + B + R \quad (1)$$

式中 A 为吸收损耗; B 为多次反射损耗; R 为反射损耗。对泡沫铝而言, 一般 $A > 10\text{dB}$ 时, 孔壁内的多次反射损耗可以忽略不计, 固有:

$$S = A + R \quad (2)$$

$$A = 0.131t \sqrt{f \mu_r \sigma_r} \quad (3)$$

$$R = 168 - 10 \lg \frac{f \mu_r}{\sigma_r} \quad (4)$$

式中 f 为电磁波频率; t 为屏蔽材料的厚度; σ_r 为相对电导率(屏蔽材料的电导率和铜电导率之比); μ_r 为相对磁导率。由公式(3)、(4)可知, 低频时材料的屏蔽效果主要来源于反射损耗, 泡沫金属表面有大量的孔洞, 可以形成一定的感抗, 反射性能较好。高频时电磁波变得容易进入, 屏蔽效果主要取决于电磁波在材料内部的吸收损耗。泡沫铝是以铝合金为基体, 内含大量的非直通孔洞, 具有高的比表面积, 电磁波透过时发生多次界面反射, 形成了较大的衰减, 吸收损耗增大, 使在较高频率下总体屏蔽效能下降不致太大。

2.2 孔隙率与孔径对屏蔽效能的影响

图 5 表示频率为 100~ 1000MHz 时, 不同孔隙率泡沫铝的屏蔽性能曲线。由图 5 可知, 孔隙率为 80% 的泡沫铝屏蔽效能和孔隙率为 84% 的泡沫铝屏蔽效能的范围都在 65~ 90dB 之间, 说明泡沫铝屏蔽效能良好, 且随着孔隙率增加, 屏蔽效能略有下降。由图 4 还可知, 当孔隙率为 90.5% 时, 泡沫铝的屏蔽效能已明显下降。随着孔隙率的增大, 泡沫铝的平均可用导电横截面减小, 电流通路的曲折增加, 因而电导率下降。由公式(4)可知, 随着电导率下降, 泡沫铝的波阻抗增加, 反射损耗下降。由公式(3)可知, 随着电导率的下降, 电磁波的衰减因子下降, 吸收损耗下降, 两者综合起来, 泡沫铝的屏蔽效能随孔隙率的增大而下降。

图 6 表示频率为 100~ 1000MHz 时, 孔隙率相近而孔径不同的泡沫铝的屏蔽性能曲线。当孔隙率相近而孔径不同时, 孔径小的泡沫铝样品其屏蔽

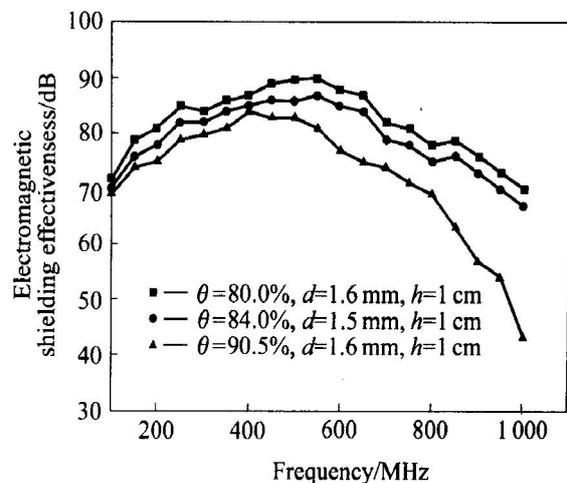


图 5 孔隙率对泡沫铝屏蔽效能的影响

Fig. 5 Influence of porosity on electromagnetic shielding effectiveness of foams

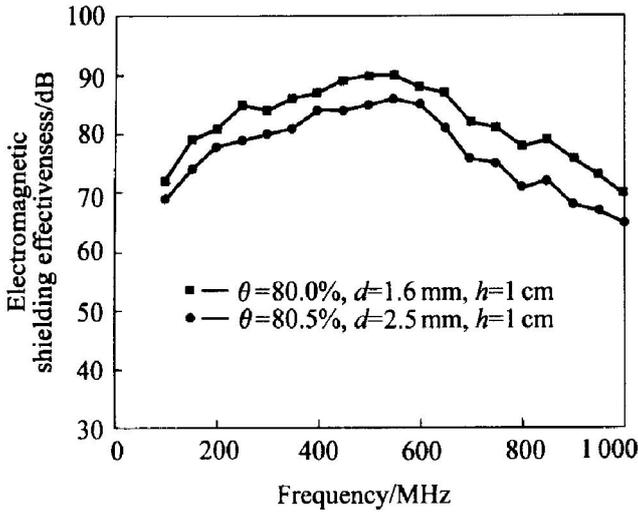


图6 孔径对泡沫铝屏蔽效能的影响

Fig. 6 Influence of cell size on electromagnetic shielding effectiveness of foams

效能比孔径大的好。因为当孔隙率相当时，孔径越小，孔的个数越多，电磁波在泡沫铝内部多重反射的次数变多，吸收损耗增大。而对于反射损耗，考虑到泡沫金属中孔洞的存在，公式(4)可写为^[11]：

$$R = 20 \lg \frac{|(1+N)|^2}{4|N|} \quad (5)$$

式中 $N = j5.79 \times 10^{-5}fd$ ， d 为孔径。可知孔径变小， $|N|$ 变小，而分子几乎不变，因此反射损耗增大，故总的屏蔽效能增大。

3 结论

1) 在粉末冶金发泡法制备闭孔泡沫铝工艺中，通过调整发泡剂含量、发泡温度、粘度、保温时间等手段，可制得孔隙率可调、孔洞分布均匀的闭孔泡沫铝样品。

2) 在 100~1000MHz 频率范围内，泡沫铝具有良好的电磁屏蔽性能(在 65~90dB 之间)，且频率对泡沫铝的电磁屏蔽性能影响不大。

3) 随着孔隙率的增加，泡沫铝的电导率下降，使泡沫铝的反射损耗和吸收损耗下降，导致电磁屏蔽性能下降。

4) 随着孔径减小，泡沫铝的吸收损耗和反射损耗增大，总的屏蔽效能增大。

REFERENCES

[1] 谭松庭, 章明秋, 容敏智. 金属纤维填充聚合物复合

材料的导电性能和电磁屏蔽性能[J]. 材料工程, 1999 (12): 3-5.

TAN Song-ting, ZHANG Ming-qiu, RONG Min-zhi. Electroconductivity and electromagnetic interference shielding effectiveness of metal fiber polymer composites [J]. Journal of Materials Engineering, 1999(12): 3-5.

[2] Evans A G, Hutchinson J W, Ashby M F. Multifunctionality of cellular metal systems[J]. Progress in Materials Science, 1999, 43: 171-221.

[3] Banhart J. Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams[J]. Progress in Materials Science, 2001, 46: 559-632.

[4] Gibson L J, Ashby M F. Cellular Solids: Structure and Properties [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

[5] Feng Y, Zheng H W, Zhu Z G. The microstructure and electrical conductivity of aluminum alloy foams[J]. Materials Chemistry and Physics, 2002, 78: 196-201.

[6] Feng Y, Zhu Z G. Dynamic compressive behavior of aluminum alloy foams[J]. Journal of Materials Science Letters, 2001, 20: 1667-1668.

[7] Song Z L, Zhu J S, Ma L Q. Evolution of foamed aluminum structure in foaming process[J]. Materials Science and Engineering A, 2001, A298: 137-143.

[8] 吴 铿, 潜 伟, 储少军. 制备泡沫铝时增粘过程的基础研究[J]. 中国有色金属学报, 1998, 8(S1): 80-85.

WU Keng, QIAN Wei, CHU Shao-jun. Research of the process of increasing viscosity for producing foam Al[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1998, 8 (S1): 80-85.

[9] Chuba B. Electroless copper/nickel shielding: highperformance solution to electromagnetic interference[J]. Plating and Surface Finishing, 1989(9): 30-33.

[10] 吕仁清, 蒋全兴. 电磁兼容性结构设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990.

LU Ren-qing, JIANG Quan-xing. Practical Design for Electromagnetic Compatibility[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1990.

[11] 湖北省电磁兼容学会. 电磁兼容性原理和应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.

The EMC institute of Hubei. Electromagnetic Compatibility Principles and Applications[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1996.

(编辑 杨幼平)