

用超声衰减法研究喷射沉积 6061Al/SiCp 复合材料的阻尼性能

魏 勤¹ 张迎元² 尤建飞¹

(1 华东船舶工业学院数理系 镇江 212003) (2 洛阳船舶材料研究所 洛阳 471039)

2003 年 9 月 19 日收到

摘要 本文通过研究喷射沉积 6061Al/SiCp 复合材料的超声衰减系数分析材料的阻尼性能。实验结果表明:随着超声频率逐渐增大,该材料对超声吸收和散射增强;在一定范围内, SiC 体积分数的增大使吸收衰减系数增大,复合材料阻尼性能增强。

关键词 6061Al/SiCp 复合材料, 阻尼性能, 超声衰减

Ultrasonic attenuation coefficient of the spray-atomized and co-deposited 6061Al/SiCp composite

WEI Qin¹ ZHANG Ying-Yuan² YOU Jian-Fei¹

(1 East China Shipbuilding Institute, Zhengjiang 212003)

(2 Luoyang ship materials research institute, Luoyang 471039)

Abstract The damping properties of the 6061Al/SiCp metal matrix composite, which was fabricated by spray atomization and deposition, were studied by the sting of ultrasonic attenuation coefficients. The experimental results show that, is increasing frequency, the absorbing attenuation and scattering attenuation are both improved. The absorbing attenuation coefficients and damping capacity will also increase with the increase of volume fraction of SiC.

Key words 6061Al/SiCp metal matrix composite, Damping properties, Ultrasonic attenuation

1 引言

阻尼是材料的一种性质,它将材料的机械振动能量通过内部机制不可逆地转变为其他形式的能量^[1]。由于能量的耗散是通过内部机制来完成的,因而材料的阻尼性质有时也称为内耗(低频时)或者超声衰减(高频时)。用

内耗法研究复合材料的阻尼性能的相关报道很多,如张迎元,王灿等人用内耗法研究喷射沉积 6061Al/SiCp 复合材料的阻尼性能^[2,3]。而用超声衰减法研究该种复合材料阻尼性能的相关报道却很少。本文通过测试喷射沉积 6061Al/SiCp 复合材料的超声衰减系数,研究测试频率以及 SiC 体积分数对材料阻尼性能的关系。实验所

测试的试样由喷射共沉积法制备。

2 超声波在 6061Al/SiCp 复合材料中的衰减

超声波在介质中传播时, 能量衰减主要取决于超声波的散射和吸收。因此超声波在不同介质中的衰减常用衰减系数 α 来表示^[4]:

$$\alpha = \alpha_s + \alpha_a \quad (1)$$

式中 α_s 为散射衰减系数, α_a 为吸收衰减系数。通常情况下, 吸收衰减系数 α_a 可表示为:

$$\alpha_a = c_1 f \quad (2)$$

式中 f 为超声波频率, c_1 为与材料特性有关而与晶粒大小和各向异性无关的常数^[4]。而关于散射系数 α_s 根据晶粒的大小 d 与超声波长 λ 之比分为三种不同的情况:

$$(1) d \ll \lambda \text{ 时} \quad \alpha_s = c_2 F d^3 f^4; \quad (3)$$

$$(2) d \approx \lambda \text{ 时}, \quad \alpha_s = c_3 F d f^2; \quad (4)$$

$$(3) d \gg \lambda \text{ 时}, \quad \alpha_s = c_4 F / d; \quad (5)$$

c_2, c_3, c_4 为常数, F 为各向异性因数, d 是晶粒直径^[4]。

对于喷射共沉积 6061Al/SiCp 复合材料, SiC 粒子在基体 Al 中通常以角板状存在。图 1 为试样浸蚀后在金相显微镜放大 500 倍后拍摄的照片。从图 1 中可以看出 SiC 以角板状存在, 而且形状不规则。定量分析表明: 复合材料中 SiC 晶粒度数量级为 $10^1 \mu\text{m}$, 铝的晶粒度数量级也是 $10^1 \mu\text{m}$ ^[2]。而测试用超声波频率为几兆到几十兆赫兹, 波长的数量级通常为 $10^2 - 10^3 \mu\text{m}$ 。因此该复合材料中, 超声散射衰减是三种散射衰减的公式中 (1) 和 (2) 两种情况, 即散射系数与频率 f 的四次方或平方成正比。

吸收系数 α_a 主要是由材料的吸收导致的。作为高强度、高阻尼的 6061Al/SiCp 复合材料在常温 (小于 100°) 时主要是位错阻尼起作用^[5]。位错阻尼是由于增强相与基体界面处高密度的位错吸收振动能量导致的。超声波在金属基复合材料中传播时, 会引起介质的机

械振动。振动的能量由于位错阻尼而产生能量的耗散, 宏观上显示为复合材料对超声波的吸收。图 2 是通过 Philips-CM200 透射电镜 (放大倍数为 50 万倍) 观察到的 SiC 颗粒周围存在高密度的位错。

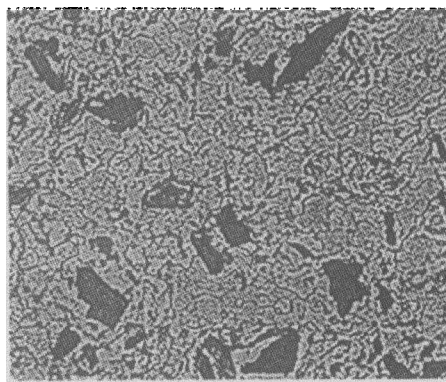


图 1 6061Al/SiCp 复合材料中 SiC 粒子的形状

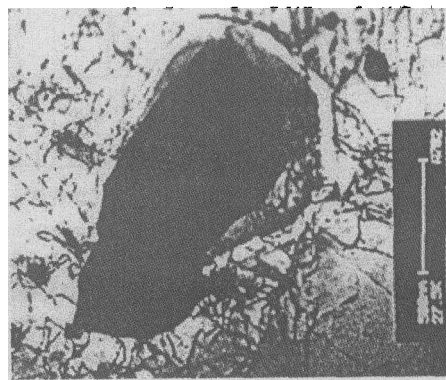


图 2 6061Al/SiCp 复合材料中 SiC 粒子周围的位错

3 超声衰减测试原理与装置

在测试过程中, 超声波的能量衰减除了散射和吸收之外, 声束的扩散、耦合等也会引起能量衰减。当测试系统确定后, 实际测得的衰减系数 α 应包括材质本身的衰减 M , 声束扩散损失 L , 反射损失 R , 以及耦合损失 C 四部分, 即可以表示为:

$$\alpha = M + L + R + C \quad (6)$$

由于测试条件相同, 试样尺寸接近, 不同试样

之间的 L, R, C 的差值非常小时, 可以忽略其影响, 直接利用 α 对不同材料的本身衰减进行相对比较。

超声衰减系数测试一般用 A 型显示脉冲反射式超声波探伤仪和平探头进行测定。由于平探头通过薄层油耦合受人为因素 (耦合剂使用量, 探头与被测材料结合的紧密程度等) 影响比较大, 因此采用厚层水耦合液浸法进行检测^[6]。检测方法如图 3 所示:

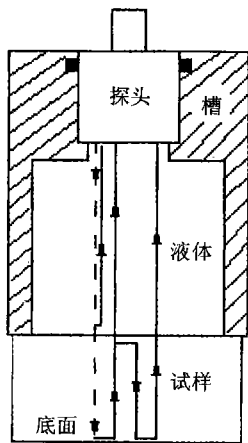


图 3 水浸法纵波法测定材料超声衰减系数示意图

这种方法直接将超声探头通过耦合剂与材料测试面接触, 纵波垂直入射, 材料底面与空气接触, 这样在材料底面的声波反射近似全反射, 可以忽略反射损失。这种方法操作简单, 人为干扰因素少。

在测量之前, 必须根据超声平探头的声场确定试样的厚度。测试时要调整水程, 使试样底面处于 $\geq 3N$ 的位置, N 为近场长度^[7]:

$$N \approx \frac{D^2}{4\lambda} \tag{7}$$

式中: D 为探头的直径, λ 为超声波的波长。

根据试样厚度调节探伤仪的时间基线和增益, 使荧光屏上出现一系列的多次底面反射波。可按下式计算衰减系数 α ^[7]:

$$\alpha = \frac{20 \lg(A_m/A_n) - 20 \lg(n/m)}{2(n-m)T} \tag{8}$$

式中 A_m 和 A_n 为第 m 次与第 n 次底面回波的幅度值 ($n > m$), T 为试样的厚度。

4 测试结果

测试用超声波探伤仪为友联 PXU-27 增强数字式超声探伤仪。首先测试 SiC 体积分数为 10% 的 6061Al/SiCp MMC 试样, 其超声衰减系数与频率之间的关系。试样是厚度为 28mm, 直径为 90mm 的圆柱形工件。分别用 1MHz, 1.25MHz, 2.5MHz, 5MHz, 10MHz 五种频率对试样多次测量, 计算平均后将结果绘制成图 4:

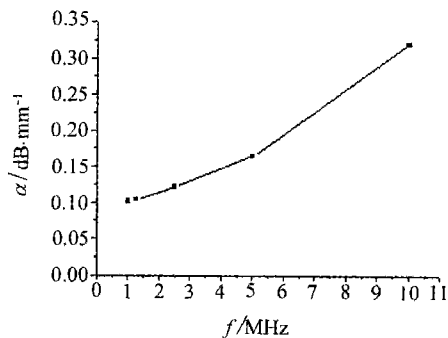


图 4 10% 体积分数试样的衰减系数与频率的关系图

对 SiC 体积分数为 7%, 10%, 15%, 20%, 30% 的 6061Al/SiCp MMC 试样在 2.5MHz 的频率下多次测试其衰减系数, 经平均后将结果绘制成图 5:

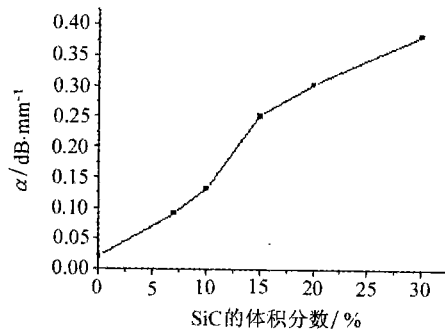


图 5 在 2.5MHz 时超声衰减系数与 SiC 体积分数的关系曲线

5 结果分析

根据前面分析的结论, 6061Al/SiCp 复合材料的衰减系数中吸收衰减系数与频率 f 成正比, 而散射衰减系数与频率 f 的二次方或四次方成正比。因为复合材料中 SiC 的晶粒尺寸大小不一, 所以散射衰减系数应同时包括 f 的平方项和四次方项, 对图 4 结果进行曲线拟合得:

$$\alpha = 8.948 \times 10^{-2} + 1.078 \times 10^{-2} f + 6.977 \times 10^{-4} f^2 + 5.096 \times 10^{-6} f^4 \quad (9)$$

(9) 式中 f 的一次项表示吸收衰减, f 的二次项和四次项表示散射衰减, 常数项为测试时其它的一些能量损失; 频率增大时, 吸收和散射衰减系数同时增大。吸收衰减系数随频率的增大而增大说明复合材料吸收声波能量的能力增强, 材料的阻尼性能增强。该性质与该复合材料的内部微观结构有关, 可以用位错阻尼机制来解释。用内耗法研究该种复合材料阻尼的结果^[8]是 Al/SiCp 复合材料在常温下, 阻尼性能基本上不随温度变化, 并以位错运动内耗为主, 阻尼性能随频率的升高而增大。

由图 5 可知: 在 2.5MHz 测试频率下材料的衰减系数随 SiC 体积分数的增大而增加。SiC 体积分数的增大使 SiC 粒子数密度增大, 粒子间距变小。材料对声波的吸收和散射加剧, 致使衰减系数增大。对各体积分数的该种复合材料用不同频率测试其超声衰减系数, 并经曲线拟合后发现: 表示材料吸收衰减的频率 f 一

次项系数随 SiC 体积分数增大而增大。这表明该材料的吸收衰减系数随 SiC 体积分数增大而增大, 即材料的阻尼随 SiC 体积分数增大而增强。内耗法研究结果^[9]是在常温下, SiC 含量增大使 Al/SiCp 复合材料阻尼增强。

从应用方面来看, 由于经拟合的多项式中, 频率一次项前的系数表征吸收衰减的强弱, 它与 SiC 体积分数有关, 有可能用它来确定同种工艺制备的 6061Al/SiCp 复合材料中 SiC 体积的分数, 优点是不需考虑散射影响。待进一步深入工作。与传统的用金相显微镜测试方法相比, 超声衰减法有可能成为一种简单快捷的方法。

参 考 文 献

- 1 方前锋, 朱震刚, 葛庭燧. 物理, 2000, 9(29):541~545.
- 2 张迎元, 乐永康, 高灵清. 中国有色金属学报, 1999, 9(1):91~96.
- 3 WANG Can, ZHU Zhenggang. Scripta. Mater., 1998, 38(12):1739~1745.
- 4 张俊哲. 无损检测技术及其应用. 北京: 科学出版社, 1993, 262.
- 5 ZHANG Ying Yuan, LE Yong Kang. Internal friction peak and damping mechanism for spray-atomized and co-deposited 6061Al/SiCp composite. Beijing: Proceedings of ICETS, 2000, 264~268.
- 6 李光浩. 无损检测, 2001, 23(5):213.
- 7 李家伟, 陈积懋. 无损检测手册. 北京: 机械工业出版社, 2002, 163.
- 8 顾金海, 王西科, 顾敏等. 郑州大学学报, 2001, 22(4): 85~89.
- 9 裴政, 郭洪光, 谢海华等. 兵器材料科学与工程, 2000, 23(5):23~25.