

SiC_p/LY 12 铝基复合材料的阻尼行为

Study on Damping Behavior of SiC_p/LY 12 Al Matrix Composite

张小农 张荻 吴人洁

(上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室, 上海)

王灿 刘长松 朱震刚

(中国科学院内耗与固体缺陷开放研究实验室, 合肥)

Zhang Xiaonong Zhang Di Wu Renjie

(State Key Laboratory of Metal Matrix Composites, Shanghai Jiao Tong University)

Wang Can Liu Changsong Zhu Zhengang

(Laboratory of Internal Friction and Defects in Solid, Chinese Academy of Sciences, Hefei)

[摘要] 研究了 SiC_p/LY 12 铝基复合材料及其基体铝合金的阻尼行为, 发现随温度升高, 铝基复合材料的阻尼性能显著增加, 优于铝合金。并且增强物含量越多, 复合材料的阻尼性能越好。研究认为位错阻尼和界面阻尼是提高复合材料阻尼性能的原因。

关键词 铝基复合材料 阻尼行为 位错 界面

[Abstract] The damping capacity of SiC_p/LY 12 composite was high at elevated temperature and was better than that of Al alloy. With increasing of volume fraction of SiC particles in the composite, its damping capacity was increased gradually. Both of dislocation damping and interface damping were the main contributors to damping mechanism in the composite.

Keywords Al matrix composite damping capacity dislocation interface

1 引言

金属基复合材料具有与金属明显不同性能, 如: 提高刚度和强度、增加耐磨性、降低热膨胀系数等, 因此, 金属基复合材料被认为具有较好的应用潜力。为满足动态结构应用中减小振动和噪音的要求, 研究金属基复合材料的阻尼性能是必需的。虽然已有一些研究报道了金属基复合材料的阻尼性能^[1~7], 但由于复合材料体系的不同、制备工艺的差别、测量条件的不一致, 对金属基复合材料的阻尼特性仍缺少清晰的了解, 本文研究碳化硅颗粒增强铝合金复合材料的阻尼行为。

2 实验

复合材料采用碳化硅 (SiC) 陶瓷颗粒为增强物, 颗粒大小约为 10 μ m, 以 LY 12 铝合金为基体。复合材料的制备采用搅拌铸造的方法, 在特制的真空搅拌炉中, 将碳化硅颗粒加入熔融的铝合金中, 以一定的速度搅拌使之在铝合金中分散均匀, 然后在铸模中冷却

得到一定体积的复合材料铸锭, 最后将铸锭在大型压机上挤压为 $\varnothing 14\text{mm} \times 250\text{mm}$ 的圆棒状型材, 从上面切取长为 60mm、宽为 4mm、厚为 1mm 的阻尼性能测试样品。

利用多功能内耗仪研究铝合金和铝基复合材料的阻尼行为。多功能内耗仪是一种全自动的倒扭摆仪, 在真空状态下以强迫振动方式测量材料的阻尼性能, 测量时控制最大应变振幅 (ϵ) 为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$, 频率 (f) 为 0.1 ~ 5Hz, 温度 (T) 从室温约 20 $^{\circ}\text{C}$ 到 400 $^{\circ}\text{C}$ 的高温。

3 结果和讨论

制备的颗粒体积含量约为 15vol% 和 30vol% 的 SiC_p/LY 12 铝基复合材料, 图 1 是含量为 30vol% 的复合材料的金相照片。图 2 是颗粒含量为 15vol% 的 SiC/LY 12 复合材料的阻尼-温度行为, 图中示出了在三个频率下的测量结果, 可见, 随温度升高, 复合材料的阻尼性能迅速增加, 并且低频下增加的效果更大。

图 3 比较了不同颗粒含量的 SiC/ LY12 复合材料与 LY12 铝合金的阻尼-温度行为, 发现颗粒含量越多, 复合材料的高温阻尼性能越好。该图还显示出复合材料在约 160℃ 处的中等温度范围有一个阻尼峰, 这个阻尼峰在高颗粒含量的复合材料中较显著。



图 1 SiC_p/ LY12 铝基复合材料的金相照片 (V_p = 30vol%)

Fig. 1 Micrograph of SiC_p/ LY 12 Al matrix composite (V_p = 30vol%)

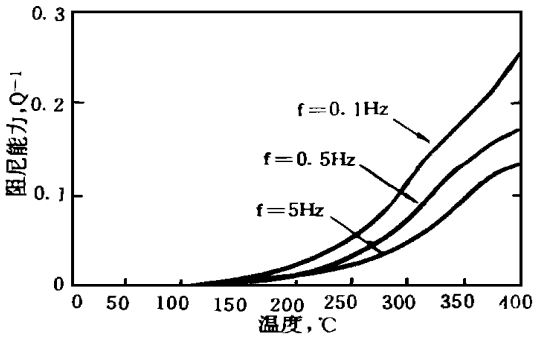


图 2 SiC_p/ LY12 复合材料的阻尼-温度行为 (V_p = 15vol%, ε = 7 × 10⁻⁵)

Fig. 2 Damping-temperature behavior of SiC/ LY 12 composite (V_p = 15vol%, ε = 7 × 10⁻⁵)

碳化硅是近于完全弹性的陶瓷, 它本身的阻尼性能极低^[8], 约为 1×10^{-5} , 且几乎不随温度变化, 因此, 碳化硅颗粒增强铝基复合材料的阻尼性能明显优于铝合金的原因, 不是直接由碳化硅颗粒本身提供的, 而是与基体的微观结构改变以及复合材料特有的大量存在的结合界面有关。

铝的阻尼产生机制被认为是位错阻尼机制, 可按 G-L 理论解释^[2], 即铝中的位错在外加应力的作用下产生运动, 消耗振动能量, 从而产生阻尼, 但通常铝中位错的运动是在一些强钉扎点 (如: 杂质原子、位错网络等) 之间的弦共振运动, 而不能从这些钉扎点上脱钉, 所消耗的振动能量较少, 铝的阻尼性能并不高。

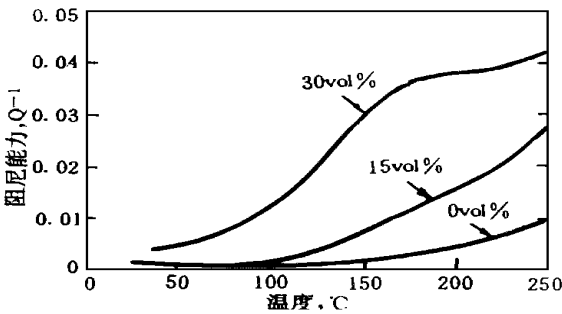


图 3 SiC/ LY12 复合材料与 LY 12 铝合金的阻尼性能比较 (f = 1Hz, ε = 7 × 10⁻⁵)

Fig. 3 Comparison of damping capacities of SiC/ LY 12 composite and LY 12 alloy (f = 1Hz, ε = 7 × 10⁻⁵)

碳化硅颗粒与铝的热膨胀系数相差较大, 所以在复合材料的制备过程中, 碳化硅颗粒的加入使界面附近的铝基体必然发生屈服现象, 大大增加铝中的位错密度。金属基复合材料的界面处具有高密度的位错现象已被大量的研究结果发现^[9~14], 如: 铝基复合材料的位错密度为 $10^{13} \sim 10^{14} \text{ m}^{-2}$ 数量级, 高于淬火时效硬化的铝合金, 其位错密度小于 10^{12} m^{-2} 。位错数量的增加能提高复合材料的阻尼性能。增强物含量越多, 位错数量的增加越大, 复合材料的阻尼性能就越高, 如图 3 所示。

图 3 还显示出铝基复合材料在约 160℃ 处有一较大的阻尼峰, 这说明在热与应力的双重作用下, 复合材料中很多的位错被激活, 产生了从钉扎点上的脱钉运动, 消耗了较多的振动能量, 而铝合金中因位错数量较少, 没有明显的阻尼峰出现。

复合材料的高温阻尼更好的另一个重要因素则来自于复合材料的界面阻尼。颗粒与基体的结合界面是复材料特有的阻尼源。界面阻尼是界面在外加应力的作用下发生相对的微滑移现象, 从而消耗振动能量产生阻尼^[15]。通常, 金属基复合材料的界面结合是十分牢固的, 室温阻尼测量时的应力不能使界面发生滑移, 但随温度升高, 复合材料的界面结合将逐渐减弱, 界面滑移随温度的升高而加剧。由于界面在复合材料中所占的比例很大, 界面将在高温下成为复合材料的主要阻尼源。

关于弱结合界面的界面滑移阻尼 (Q_i^{-1}), Lederman 引入了一个估算方法^[2]:

$$(Q_i^{-1}) = CkV_p \quad (1)$$

其中: 常数 $C = 3\pi/2$, μ 是陶瓷颗粒与金属基体之间的界面摩擦系数, $k = \sigma_r/\sigma_0$ 是界面处径向应力集中系数, V_p 是颗粒的体积含量。图 2 和图 3 的测量结果表

明, 温度升高, 颗粒增强铝基复合材料的阻尼远大于铝合金, 并且颗粒含量增加, 复合材料的阻尼更大, 这是界面数量随颗粒含量增加而增加的结果, 与式 (1) 相符合。

4 结论

SiC_p/LY12 铝基复合材料的阻尼性能随温度的升高而显著增加, 优于铝合金, 且随增强物含量增加, 这种提高的效果更加显著。复合材料中较多的位错阻尼和界面阻尼是形成这种结果的原因。

参考文献

1 Wolfenden A and Wolla J M, . Dynamic Mechanical Properties, in Metal Matrix Composites: Mechanisms and Properties, edited by Everett R K and Aresenauh R J, Academic Press, Inc. , San Diego, CA 92101, USA, 1991: 287

2 Zhang J, Perez R J, Wong C R and Lavemia E J. Mater. Sci. Eng. R, 1994, 13 (8): 325

3 Zhang J, Perez R J, and Lavernia E J. J. Mater. Sci. , 1993, 28: 2395

4 Rawal S P, Armatrong J H and Misra M S. Damping Characteristics of Metal Matrix Composites, AD- A213712, May 1989: 1

5 Zhang J, Perez R j and Lavernia E J. Acta Metall. Mater, 1994, 24 (2): 395

* * * * *

(上接第 19 页)

4 结论

(1) C_f/Al-4.5Cu 复合材料界面存在 CuAl₂ 与 Al₄C₃ 析出相, Al₄C₃ 呈细棒状, 而 CuAl₂ 相表现为柱状、块状和片状。

(2) 由于碳纤维与 Al-4.5Cu 基体间热膨胀系数不匹配产生的热应力及挤压铸造过程中 Al-4.5Cu 基体产生塑性变形, 使得在界面附近的基体中能观察到大量位错。同时 CuAl₂ 相中也存有位错缺陷。

(3) C_f/Al-4.5Cu 复合材料界面具有“轻微反应型界面”的特征, 这种类型复合材料界面有助于复合材料本身力学性能的提高。

参考文献

1 M. Vedani, E. Gariboldi, G. Silva, et al. Mater. Sci. and Tech. 1994, 10: 132~ 140

6 Kinra V K , and Wren G G. Experimental Mechanics, 1992, 6: 163

7 Kinra V K , and Wren G G. Experimental Mechanics, 1992, 6: 172

8 Nishiyama K, Yamanaka M, Omori M and Umekawa S. J. Mater, Sci. Lett, 1990 (9): 526

9 Arsenault R J and Shi N. Mater. Sci. Eng. A, 1986, 81: 175

10 Vogelsang M, Arsenault R J and Fisher R M. Metall. Trans. A, 1986, 17: 379

11 Dunand D C and Mortensen A. Mater Sci Eng A, 1991, 135: 179

12 Hartman J T, Jr. Keene K H, Amstrong R J and Wolfenden A. J. Metals, 1986, 38: 33

13 Zhang J, Perez R J, and Lavernia E J. J. Mater. Sci, 1993, 28: 835

14 Dutta I and Bourell D L. Mater. Sci. Eng. A, 1989, 112: 67

15 张小农. 金属基复合材料的阻尼行为研究. 上海交通大学博士学位论文, 1997. 4

稿件收到日期: 1997. 12. 29

张小农, 男, 1969 年 5 月生, 博士, 上海交通大学讲师, 研究方向为金属基复合材料的制备、性能与微观结构的关系。

联系地址: 上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室 (邮编 200030)

2 B. R. Henriksen, T. E. Johnsen. Mater. Sci. and Tech, 1990, 6: 857~ 861

3 王玉庆, 唐风军, 郑久红. 金属学报, 1995, 31 (2): 86~ 90

4 M. Suery and G. Lesperance. Key Engineering Materials, 1993, 79~ 80: 33~ 46

5 A. P. Diwanji, I. W. Hall. J. Mater. Sci, 1992, 27: 2039

6 R. J. Arsenault and R. M. Jones. Scripta Metallurgica, 1983, 17: 67

7 J. K. Lee, Y. Y. Earmmer, H. I. Aaronson. Metall. Trans (A), 1980, 11: 1837

8 M. F. Ashby. Phil. Mag, 1970, 21: 399

稿件收到日期: 1997. 10. 27

储双杰, 男, 高级工程师, 1964 年 12 月出生, 1996 年 6 月在上海交通大学获得博士学位。主要从事金属基复合材料制备科学、非平衡凝固机理及电工钢磁性材料研究工作, 联系地址: 上海市宝山十村 85 号 202 室 (邮政编码 201900)