第 15 卷 第 2 期 复 合 材 料 学 报 Vol 15 No. 2
1998 年 5 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA May 1998

增强物的加入对纯镁阻尼性能的影响

张小农 张 荻 吴人洁 朱震刚* 王 灿* 刘长松*
(上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室, 上海 200030) (* 中国科学院内耗与固体缺陷开放研究实验室)

摘 要 制备了以纯镁为基体, 以混杂碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维为增强物的镁基复合材料, 研究了其机械性能和阻尼性能。结果表明, 增强物的加入提高了纯镁的强度, 但同时也减小了复合材料阻尼的应变振幅效应, 从而降低了其阻尼性能。研究证明此镁基复合材料的阻尼行为可按 G-L 位错阻尼理论解释, 与纯镁一致。

关键词 纯镁, 镁基复合材料, 阻尼, 位错
中图分类号 TB331

在各种金属材料中, 纯镁是具有最高阻尼性能的材料, 并因其极轻的密度常用在航天、航空和电子等工业中高减震降噪要求的场合。但由于其机械性能的不足, 大大限制了它的应用范围。为提高纯镁的强度、刚度等性能, 人们采用合金化的方法, 往纯镁中加入锆、锰等元素得到如 Mg-0.6wt% Zr、Mg-1wt%Mn 等合金[1,2], 其机械性能有所改善, 但仍然难以作为结构材料使用。为制备出具有足够机械性能的镁基材料, 有必要在镁中添加某些增强物, 以期能在保持镁的高阻尼的同时, 赋予镁高强度的性能, 使其成为一类综合性能良好的复合材料。但对此种方法可行性的实验研究仍是空白, 增强物加入后对镁的阻尼行为的影响还没有研究报道。为此, 作者尝试了以纯镁为基体制作新型的镁基复合材料, 研究其机械性能和阻尼性能。

1 实 验

选用工业纯镁(Mg > 99.8wt%)为基体, 增强物则用碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维的混杂物, 体积混杂比为1∶1。所用碳化硅颗粒约为10μm, 硅酸铝纤维是直径约10μm、长度约100μm 的短纤维。由于颗粒和短纤维混杂增强复合材料的制备工艺较简单, 机械性能较好, 故采用湿法工艺制备镁基混杂复合材料, 即把颗粒和短纤维在加有粘结剂的水溶液中均匀搅拌分散, 然后沉淀在一定形状的模具中并经烧结得到碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维分散较均匀的预制件, 再把熔融好的纯镁按液态压力浸渍工艺压入预制件中, 得到复

图1 镁基复合材料的金相组织(V_r= 8vol%)
Fig. 1 Micrograph of magnesium matrix composite

收修改稿、初稿日期: 1996—12—23, 1996—10—04

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

合良好的材料。为进一步提高性能,需经挤压,再机加工制得机械性能和阻尼性能的测试试样。本文中研究了以下材料:总体积含量分别为8vol% 和18vol% 的(SiC_P + Al_2O_3•SiO_{2f})/Mg 和纯 Mg 样品,图1是典型的(SiC_P + Al_2O_3•SiO_{2f})/Mg 复合材料金相组织。

机械性能的测量利用MTS 测量系统,每组样品不少于5个,试样机加工成45mm ×5mm × 2mm 的片状,两头夹持部位尺寸更大。阻尼性能的测量利用多功能内耗仪进行,样品加工成 60mm ×4mm ×1mm 的矩形薄片,测量时样品室要抽真空,采用强迫振动的方式加载。测量条件为:应变振幅(ϵ)为10^{-6}～10^{-4},频率(f)为1Hz,温度(T)为室温约12℃。

2 结果及讨论

纯镁及其复合材料的机械性能测试结果列于表1,当增强物的加入量为8vol% 和18vol% 时,纯镁的强度分别被提高了110% 和130%,可见镁基复合材料的抗拉强度比纯镁有大幅度提高,并随增强物含量的增加,强度提高更加显著。但其延伸率则相应地降低了,高增强物含量的复合材料延伸率下降显著。

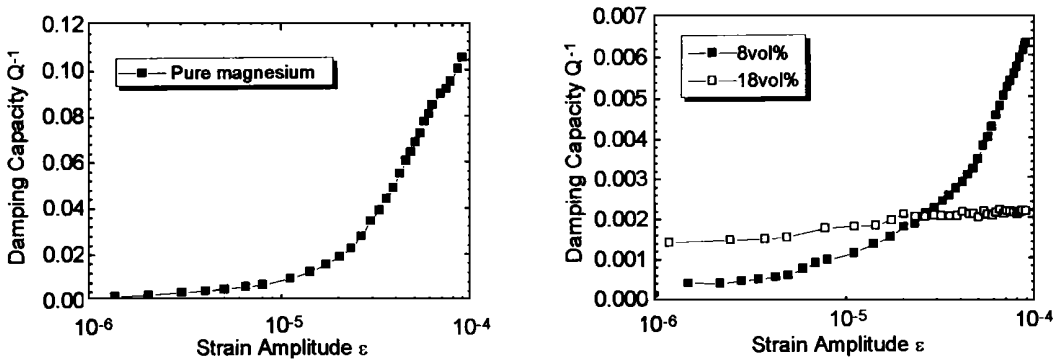
表1 纯镁及其复合材料的机械性能

Table 1 The mechanical properties of pure magnesium and its composites

增强物含量 /vol%	抗拉强度 σ_b/MPa	延伸率 δ/%
0	96.0	16.00
8	201.3	2.13
18	218.6	0.64

碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维是常用的工业磨料和保温材料,价格低廉,用它们作为增强物可降低复合材料的成本。混杂工艺已被认为是提高复合材料性能同时生产简便的好措施。本研究采用此碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维混杂的方法,既提高了纯镁的强度,又不使制造成本很高。

图2是纯镁及其复合材料的室温阻尼性能与应变振幅曲线,比较图2(a)、2(b)发现,复合材料阻尼性能比纯镁有较大幅度的降低,测量范围内的阻尼最大值在纯镁为Q^{-1}= 0.11,而复合材料仅达0.0065(V_r= 8vol%)和0.0022(V_r= 18vol%),可见增强物的加入降低了纯镁的阻尼性能,并且随增强物的加入量增大,这种降低就变得更加显著。



(a) Pure magnesium (b) Magnesium matrix composites

图2 纯镁及其复合材料的阻尼性能与应变振幅关系曲线 (T= 12℃, f= 1Hz)

Fig. 2 The curves of damping capacity - strain amplitude of pure magnesium and its composites (T= 12℃, f= 1Hz)

在图2中另一个明显现象是随测量的应变振幅变化,两个复合材料表现的阻尼行为有所不同,含量较低的镁基复合材料阻尼随应变振幅增大而有较明显的增加,但含量为18vol% 的镁

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

基复合材料却几乎没有变化, 保持约$Q^{-1}=0.0022$的水平。因此, 复合材料阻尼低于纯镁的原因是复合材料阻尼的应变振幅相关性减弱造成的, 它不象纯镁的阻尼那样强烈地依赖于应变振幅, 因而阻尼值减小了许多。

纯镁的高阻尼产生机制可由 Granato 和 Lücke[3]的位错钉扎模型, 即位错的钉扎和脱钉产生阻尼(G-L 理论)解释。G-L 理论解释位错阻尼认为, 长度L 的位错线在两端被钉扎, 若在角频率为ω的应力作用下受迫振动, 位错产生的与应变振幅无关阻尼为

$$Q_i^{-1}=\Lambda BL^4\omega/(36Gb^2) \tag{1}$$

其中: Λ为位错密度; L 为钉扎长度; ω为振动角频率; G 为剪切模量; b 为柏氏矢量; B 为一系数。

在实际材料中, 位错线上的钉扎点有大有小, 在足够大的应力作用下, 位错可以挣脱开小钉扎点并限制在大钉扎点上, 同时在滑移面上扫过一个更大面积。这种脱钉过程是"雪崩"似的, 导致阻尼急剧增加。G-L 理论预计的这种与应变振幅相关阻尼为

$$Q_h^{-1}=(C_1/\epsilon)\exp(-C_2/\epsilon) \tag{2}$$

其中: $C_1=(\Omega\Delta_0/\pi^2)(\Lambda L_n^3/L_c)$; $C_2=Ka\delta/L_c$; K 为常数; δ是钉扎溶质原子与溶剂原子的尺寸之比; a 是点阵常数; Ω是滑移系中位错的位向参数; $\Delta_0=4(1-\gamma)/\pi^2$, ($\gamma$是泊松比); L_c 是平均最小钉扎长度; L_n 是大钉扎或位错网络的长度。式(2)表明 $\ln(\epsilon Q_h^{-1})$ 对$1/\epsilon$作图将是一条直线。

图2表示的纯镁和镁基复合材料($V_r=8$vol%)的阻尼与应变振幅具有明显的相关性, 按照位错阻尼理论应有 $\ln(\epsilon Q_h^{-1})$ 对$1/\epsilon$的直线关系, 作者利用实验测量的数据计算了它们的值, 图3是计算结果, 发现无论是纯镁还是复合材料, $\ln(\epsilon Q_h^{-1})$ 对$1/\epsilon$都确是一条非常好的直线。这表明 G-L 理论是有效的, 因此, 纯镁和复合材料都具有相同的阻尼机制, 即位错运动是阻尼产生的主要原因。

比较二者的阻尼行为差别, 纯镁具有非常强的应变振幅依赖效应, 但随着复合材料中增强物的加入量增加, 发现其阻尼的应变振幅效应逐渐减小, 如图2所示。按位错阻尼理论, 纯镁中位错线上的强钉扎点较少, 位错可以在较小的应变振幅下运动, 在滑移面上扫过较大的面积, 消耗掉大量的振动能量, 从而产生很大的位错运动阻尼。而在复合材料中由于增强物的加入, 使得单位长度位错线上的强钉扎点数量增加, 位错只有在相对更大的应变振幅下才能产生脱钉运动, 在滑移面上运动的面积也较小, 因而消耗的能量也少, 阻尼值减小了。进一步地, 当复合材料中增强物含量很大时, 在位错线上的强钉扎点太多, 位错就不可能产生脱钉, 阻尼就表现得不随应变振幅增大而增大, 基体镁的位错阻尼贡献大大减小了, 因而复合材料的阻尼水平较低, 如增强物体积含量为18vol% 的镁基复合材料的实验结果。大量的研究表明复合材料由于增强物与基体两相的热膨胀性能相差较大, 复合材料的位错密度远大于基体, 位错网络的缠结严重, 以及大量高强度和硬度增强物的存在, 都较大地限制了位错的运动。在实验仪器的测量范围内, 应变

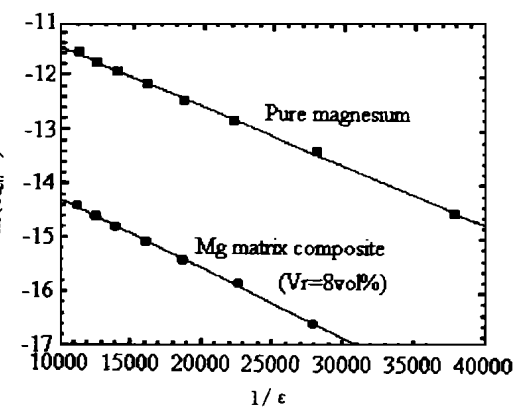


图3　纯镁及其复合材料的 $\ln(\epsilon Q_h^{-1})$ 与$1/\epsilon$关系图

Fig. 3　The relationship of $\ln(\epsilon Q_h^{-1})$-$1/\epsilon$ of pure magnesium and its composite ($V_r=8$vol%)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

振幅为10^{-6}～10^{-4}, 不能得到更大的振动激励, 高增强物含量的复合材料中位错的脱钉运动不能发动, 阻尼的应变振幅效应在测量范围内表现不出来, 复合材料的阻尼较低。

3 结 论

(1) 碳化硅颗粒和硅酸铝短纤维的混杂加入提高了纯镁的强度, 并随增强物加入量增加, 强度提高更大, 但延伸率降低了。

(2) 纯镁基复合材料的阻尼性能比纯镁下降了, 这是由于复合材料阻尼的应变振幅效应减弱造成的。这种下降随增强物加入量的增加而表现更显著。

(3) 纯镁基复合材料的阻尼机制仍然是位错运动阻尼, 与纯镁相同, 可按 G-L 理论解释。

致 谢 作者感谢中国科学院内耗与固体缺陷开放研究实验室和上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室的开放课题基金资助。

参 考 文 献

1 James D W. Mater Sci Engng, 1969, 4: 1

2 Ritchie I G, Pan Z L, Sprungmann K W, *et al*. Canadian Metallurgical Quarterly, 1987, 26(3): 239

3 Granato A, Lücke K. J Appl Phys, 1956, 27: 583, 789

EFFECT OF THE ADDITION OF REINFORCEMENTS ON DAMPING CAPACITY OF PURE MAGNESIUM

Zhang Xiaonong Zhang Di Wu Renjie
(State Key Laboratory of Metal Matrix Composites, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

Zhu Zhengang Wang Can Liu Changsong
(Laboratory of Internal Friction and Defects in Solids, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract A new kind of composite with the matrix of pure magnesium was fabricated and its mechanical properties and damping capacity were studied in this paper. It was found that the strength of the magnesium matrix composite was improved largely compared with that of pure magnesium, however, its damping capacity dependent on strain amplitude was decreased due to the addition of the reinforcements. It was also proved that the effective damping mechanism in the magnesium matrix composite was G-L dislocation damping model, the same way as that in the pure magnesium metal.

Key words pure magnesium, magnesium matrix composite, damping capacity, dislocation

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n