

含硅铁-铝合金的微观组织和阻尼性能

于学勇¹, 程凤军², 董守军²

(1. 常熟理工学院机电工程系, 江苏常熟 215500; 2. 四川大学制造科学与工程学院, 四川成都 610065)

摘要: 制备了硅含量分别为 0%, 0.2%, 0.5%, 0.9% 和 1.2% 的五种 Fe-6Al 合金, 并研究了这五种合金在淬火状态下的微观组织特征和阻尼性能, 分析了硅含量对铁-铝合金阻尼性能的影响。结果表明: 当硅含量为 0.5% 左右时, Fe-6Al 减振合金具有适当的晶粒尺寸, 阻尼性能最好。

关键词: 阻尼性能; 对数衰减率; 铁-铝阻尼合金

中图分类号: TG113.22; TG115.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3738(2006)12-0051-02

Effect of Si Content on Microstructure and Damping Property of Fe-6Al Based Alloy

YU Xue-yong¹, CHENG Feng-jun², DONG Shou-jun²

(1. Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China;

2. Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Five kinds of Fe-6Al alloys with different Si contents were experimentally made. The internal friction and microstructure of the alloys under water quenched conditions were investigated. An internal friction peak was observed in the present alloys. The internal friction peak reach the highest value when the Si content increased to 0.5%, which is found to be directly attributed to the proper crystal grain from the aluminium alloy matrix.

Key words: damping capacity; logarithmic decrement; Fe-Al damping alloy

0 引言

随着工业和社会的发展, 振动和噪声的危害越来越引起人们的重视, 对减振合金的研究也日益增多, 目前尤以铁磁型减振合金的研究最为深入。铁-铝系阻尼合金因具有良好的减振特性, 并且成本较低、减振系数不受频率影响以及可使用极限温度高等优点而倍受重视。该系合金在低于 673 K 温度下仍具有很好的阻尼性能, 能作为在高温条件下使用的减振结构材料。Hinai 等的研究结果表明^[1], 合理选择合金元素及其添加量, 合金的阻尼性能会随合金组元数的增加而得到显著改善。在此基础上作者选择硅作为第三组元, 研究其对铁-铝减振合金阻尼性能和组织的影响。

1 试样制备与试验方法

1.1 试样制备

用纯金属铁、铝在真空感应炉中熔炼试验合金(表1)。铸锭经 1 100 °C 均匀化退火后热锻成 $\phi 6$

mm 棒材, 经 10 道冷拉成 $\phi 1 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ 丝材, 再经 1 000 °C $\times 1 \text{ h}$ 保温水冷后待用。

表 1 合金的化学成分(质量分数/%)

Tab. 1 Chemical compositions of the alloys(mass/%)

编号	合金	Al	Si	Fe
1#	Fe-5.8Al	5.75	0.017	余量
2#	Fe-5.8Al-0.2Si	5.80	0.180	余量
3#	Fe-5.8Al-0.6Si	5.85	0.520	余量
4#	Fe-6.1Al-0.9Si	6.06	0.950	余量
5#	Fe-6.1Al-1.2Si	6.11	1.280	余量

1.2 试验方法

阻尼性能用振幅衰减法表征, 内耗检测在倒扭摆仪上进行, 测试丝材扭转摆动的自由衰减曲线, 测试温度为 293 K, 振动频率约为 1 Hz, 应变范围达 4×10^{-4} , 每种合金测试 2 个试样, 取平均值, 阻尼性能用对数衰减率 δ 表示^[2]:

$$\delta = \frac{1}{k} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{r}{2l} \times \phi \quad (2)$$

式中: A_n 、 A_{n+k} 分别为第 n 次、 $n+k$ 次振动的振幅; γ 为扭转应变; r 为丝材的半径, mm; l 为丝材测试时被

收稿日期: 2005-10-11; 修订日期: 2006-01-10

作者简介: 于学勇(1975—), 男, 辽宁沈阳人, 讲师, 硕士。

夹持的长度,mm; ϕ 为扭转角度,rad。光学显微镜试样用1 g 苦味酸和100 mL 的乙酸溶液腐蚀制成。

2 试验结果及讨论

2.1 对数衰减率-应变曲线

由图1可见,在相同工艺热处理后,合金的阻尼性能开始均随应变量的增大而增大,当应变变量达到 1.0×10^{-4} 左右时,减振合金的阻尼性能几乎都达到了最大值;随着应变量的继续增大,合金的阻尼性能开始下降。普遍认为铁-铝减振合金的阻尼效应是依靠磁机械滞后原理所产生的。振动和噪声的能量在合金中传递时,应变导致的应变能可通过磁畴的移动来耗散,把机械能变成热能,因此磁畴移动的难易程度和磁畴数量是决定合金内耗大小的关键^[3]。

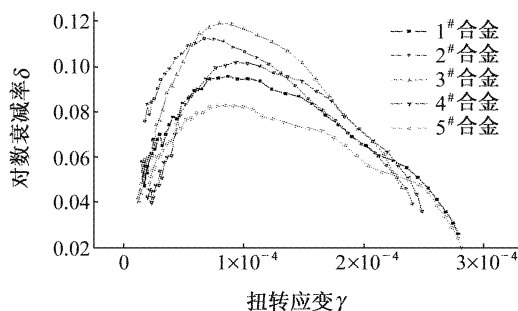


图1 试样在相同条件下的对数衰减率-应变曲线

Fig. 1 Logarithmic decrement curves of the alloys under the same condition

由图2可见,在铁-铝合金中加入适量的硅可改善合金的阻尼性能,当硅含量为0.52%时性能最佳,而加入过量的硅时合金的阻尼性能有所下降。硅的加入改变了合金的磁学性能,如磁晶各向异性、磁致伸缩率和矫顽力等,这会引发磁畴大小、畴壁能密度、畴壁尺寸和畴壁类型等的变化,从而引起畴壁在不可逆移动过程中外力对其做功多少的改变,即阻

尼性能的改变^[4];硅的加入改变了铝在铁基中的固溶度,使得铝向晶界扩散或在晶内过饱和区形成第二相,这将直接改变磁畴壁在不可逆移动过程中所受的阻力,进而改变合金的阻尼性能;硅的加入也起到固溶强化作用,产生有利于畴壁不可逆移动的局部内应力源,它的出现改变了原来合金元素引起的内应力源的大小和分布,进而改变合金的阻尼性能。

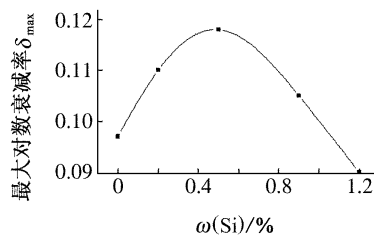


图2 合金的 $\delta_{\max}$ 与硅含量的关系

Fig. 2 The $\delta_{\max}$ curves of the alloys with mass fraction of Si%

晶界弛豫理论认为铁磁型阻尼合金的内耗取决于畴壁的数量及其移动能力两个主要因素^[2],当它们都适中时合金的内耗达到极大值。而加入适量的硅不但改变了磁畴大小、畴壁能密度和畴壁尺寸,还改变了合金中畴壁的移动能力,使得合金中的阻尼源得到优化。

2.2 合金的微观组织

由图3明显可见,合金中加入硅元素后,显微组织发生了很大变化,原来二元合金的不规则晶粒变得规则均匀。合金中加入0.5%硅后,其晶粒得到了细化,但当硅加入量达到1.2%时,其晶粒又变得异常粗大。可见,适量硅能细化铁-铝合金的基体组织,增加磁畴数量,改善合金的阻尼性能。

由于硅相与合金基体之间的热膨胀系数相差很大,硅相与合金基体界面之间产生了热的不匹配^[3,5],从而使合金内部在靠近硅相附近的区域中形成了很高的残余应力,在基体内部产生了塑性变形,消耗

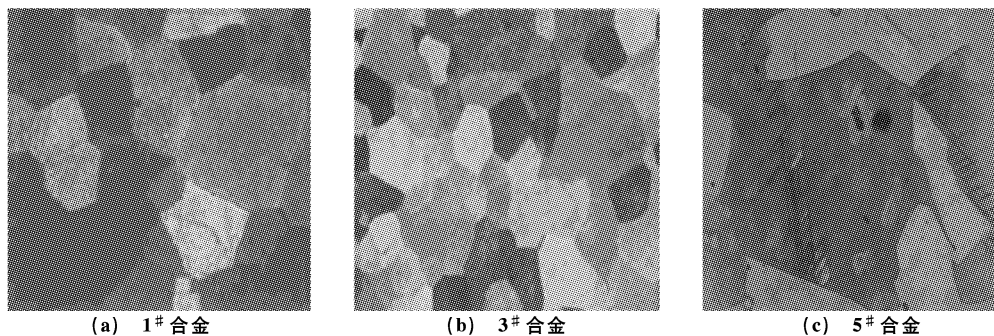


图3 合金的微观组织 200×(900 °C×2 h,水淬)

Fig. 3 Microstructure of the alloys with different mass fractions of Si 200× (a) sample 1# (b) sample 3# (c) sample 5#

(下转第90页)

并提供与其相应的信息资料,同时根据最优化原则从若干候选材料中推荐一种,并给出评价;(4) 目标选材及评价 实现按目标函数、价值工程和成本分析等现代选材方法定量选材,并给出评价;(5) 模糊综合评价 对多种影响因素进行定量分析、综合评价,选出符合要求的最佳材料。

将符合用户需求的材料,提供图形、曲线和数据三种直观、形象的比较方式,供用户参考。此外,还可根据用户的使用要求,提供各种打印支持。

6 结束语

作者在已完成的耐磨材料选材数据库基础上,采用可视化的面向对象设计工具 Delphi 作为开发平台。已完成了知识库及推理机的设计,正在进一步编写规则,搜集和补充材料数据;完成了选材综合评判模型的建立,实现了查询及初步的选材功能。由于知识库是系统的核心,知识表示是重点也是难点,因而其编写量与难度较大,目前,仍在补充和完善,其它相关工作也在进一步的完善之中。

(上接第 52 页)

振动能量,这是硅有利于改善阻尼性能的一面;另外硅相是六方晶格,硬而脆,其固有阻尼性能很低,因此,合金中加入 1.2% 的硅时,不但使合金晶粒严重粗化,同时硅本身的阻尼性能较低,并且与 α 相是半共格界面,二者结合良好,界面结合较强,在受力时不易滑动。初生硅相和共晶硅相都分布在晶界上,这些晶界上的硅粒子会阻碍合金界面的滑移,也不利于阻尼性能的提高。由此可见,硅的加入会引起合金多方面阻尼效应的变化。

3 结论

(1) 硅元素对铁-铝减振合金的阻尼性能影响较大,当硅含量为 0.5% 左右时,其阻尼性能最好。

(2) 磁畴的数量和磁畴界面移动能力对铁-铝

参考文献:

- [1] 詹武. 机械工程中钢材选用探讨[J]. 机械工程材料, 2001, 25(12): 20—22.
- [2] Meng H C, Ludema K C. Wear models and predictive equations; their form and content[J]. Wear, 1995, 181: 443—447.
- [3] 全健民, 李明义. 材料的冲击磨料磨损耐磨性及其疲劳磨损机制[J]. 机械工程材料, 1993, 17(3): 10—14.
- [4] 汪光阳, 胡伟莉, 张雷, 等. 专家系统及其相关技术的发展[J]. 安徽工业大学学报, 2004, 21(3): 215—218.
- [5] Joseph G, Gary R. 专家系统原理与编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [6] 李龙澍, 倪志伟, 叶红. 一种知识库系统软件体系结构框架的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(7): 1472—1476.
- [7] Charles J A, Crance F A, Furness. Selection and use of engineering materials[M]. Oxford: Butterworth-Heinemann 3ed., 1997.
- [8] 杨瑞成, 邓文怀, 冯辉霞. 工程设计中的材料选择与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [9] 陈明亮, 李怀祖. 基于规则的专家系统中不确定性推理的研究[J]. 计算机工程与应用, 2000, 36(5): 60—67.
- [10] 郁鹏, 周济, 温淑红. 知识处理中的推理机设计[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(1): 20—25.

减振合金的阻尼性能影响很大, 保证适当的晶粒尺寸来增加磁畴数量并提高磁畴壁移动能力均可改善合金的阻尼性能。

参考文献:

- [1] Udovenko. Mechanism for the high damping state in alloys of the Fe-Al system[J]. ASTM Special Technical Publication, 1997, 1304: 204—213.
- [2] Pulno-sagradi D. Damping capacity of Fe-Al-X high-damping alloys and its dependence on magnetic domain structure[J]. Scripta Material, 1998, 39(2): 131—138.
- [3] 李宁, 胥永刚, 于学勇. Fe-13Cr-2.5Mo 阻尼合金的热处理工艺[J]. 机械工程材料, 2004, 28(11): 4—7.
- [4] 王卫国, 周帮新, 郑忠民. Fe-Cr-Al-Si 合金阻尼性能的研究[J]. 金属学报, 1998, 34(10): 1040—1042.
- [5] 张忠明, 王锦程. ZA27-4%Si 合金的阻尼性能及阻尼机理[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(5): 1175—1179.

· 纳米新闻 · 新型纳米复合涂料获发明专利

日前, 中科院金属研究所采用两步法纳米氧化物浓缩浆技术, 制备出系列纳米复合涂料, 其性能达到国外同类产品先进水平。目前, 科研人员已研制出纳米复合飞机蒙皮聚氨酯涂料, 纳米复合封孔涂料, 抗紫外线、耐磨、光催化功能涂料等具有不同功能的纳米复合涂料。该成果荣获了 2005 年辽宁省惟一的技术发明一等奖, 并获得了 13 项发明专利。

据介绍, 该所开发的两步法制备纳米复合涂料的新方法, 第一步是先制备分散稳定的纳米浓缩浆; 第二步采用有机树脂、不同种类的纳米粉体材料浓缩浆、助剂等配制纳米复合涂料。该方法显著提高了纳米粉体材料在涂料中的分散效果和利用效率, 使纳米复合涂料的性能得到显著改善。