

稀土对泡沫锌铝合金组织和阻尼性能的影响

王海滨, 梁淑华, 肖 鹏, 范志康

(西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048)

摘 要: 利用负压渗流法制备出稀土泡沫锌铝合金, 研究稀土 La 和 Ce 的添加量对泡沫锌铝合金组织和阻尼性能的影响。结果表明: 在泡沫锌铝合金中加入 Al-10%Ce 或 Al-10%La 中间合金细化了组织, 同时提高了泡沫锌铝合金的阻尼能力; 稀土元素的添加量为 0.3%(质量分数)可获得最佳的变质效果和最高的阻尼能力; 相对于未变质而言, 阻尼能力提高了近 3 倍; 稀土泡沫锌铝合金的阻尼机制与相界面的非弹性粘滞性流动有关, 合金的相界面越多, 阻尼性能就越好。

关键词: 铜; 铈; 泡沫锌铝合金; 阻尼性能

中图分类号: TG 146.2

文献标识码: A

Influence of rare earths on microstructure and damping capacity of ZA alloy foam

WANG Hai-bin, LING Shu-hua, XIAO Peng, FAN Zhi-kang

(School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Zn-22%Al foamed alloys with rare earth La or Ce additives were fabricated by the vacuum infiltration casting, the effects of La and Ce on the modification of microstructure and damping capacity of Zn-22%Al alloy foam were investigated. The results show that the addition of Al-10%Ce and Al-10%La master alloy into the Zn-22%Al alloy foam can refine microstructure and improve the damping capacity. The best modification effect and the highest damping capacity can be obtained by the addition of 0.3%RE. The damping mechanism of Zn-22%Al alloy foam is associated with the non-elastic viscous flow of interfaces, and the more the interfaces, the higher the damping capacity of Zn-22%Al alloy foam.

Key words: La; Ce; ZA alloy foam; damping capacity

多孔泡沫金属是一种新型的轻质材料^[1-2], 由于其特殊的多孔结构而具有许多独特的性能^[3-5], 如密度小、比表面大、能量吸收性好、换热散热能力高、吸声性好(通孔体)、电磁波吸收性好、阻燃、抗热震等, 在消声、减震、催化载体、屏蔽防护、吸能缓冲等一些高技术领域具有广泛的应用前景^[6-8]。关于泡沫金属的研究目前在铝基、镍基金属方面研究的较多^[9-10], 而锌基材料具有较高的阻尼性能, 在衰减噪音和减震方面具有广阔的应用潜力^[11], 且在泡沫锌铝合金中添

加稀土未见报道。因此, 为了提高泡沫锌铝合金的力学阻尼性能, 本文作者采用负压渗流法制备出稀土泡沫锌铝合金, 研究稀土元素的添加量对泡沫锌铝合金组织和阻尼性能的影响。

1 实验

考虑锌铝合金的阻尼性能, 合金成分选择为

Zn-22%Al, 中间合金是 Al-10%La 和 Al-10%Ce, 稀土元素的加入量为合金质量的 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%。采用自制的负压渗流铸造法制备稀土泡沫铝合金, 将粒径分别为 0.5 mm 和 1.0 mm 的 NaCl 颗粒放入模具, 压制、预热后插入到稀土铝合金熔体中, 合金液在负压下被吸入模具, 凝固后稀土泡沫铝合金坯成型, 去除 NaCl 颗粒得到稀土泡沫铝合金。制备出的稀土泡沫铝合金外观形貌如图 1 所示。



图 1 泡沫铝合金外观形貌

Fig.1 External morphology of Zn-22%Al alloy foam

试样经 1 000#砂纸打磨后, 用抛光布拌着 MgO 水浊液抛光, 浸蚀剂为 20 g CrO₃+1.5 g Na₂SO₄+100 mL H₂O 溶液, 浸蚀后立即用 20% CrO₃ 水溶液清洗, 然后在 XJB-1 型立式光学金相显微镜上观察合金的组织形貌。利用电火花线切割设备在泡沫金属试样上制备矩形阻尼试样, 试样尺寸为 60 mm×20 mm×2.5 mm。阻尼测试采用受迫振动法, 受迫振动法是指当一个简谐力激振一个结构时, 该结构以激振力的频率振动, 并且很快响应达到动态平衡, 即响应以等幅值振动出现。根据振动系统的幅频曲线来确定振动系统的内耗 Q^{-1} , 其关系式如下:

$$Q^{-1} = f_2 - f_1 / \sqrt{3} f_0$$

式中 f_0 为共振频率; f_2 为比共振振幅多 3dB 处的频率值; f_1 为比共振振幅少 3dB 处的频率值。

2 结果及讨论

2.1 微观组织

在渗流过程中, 合金液在高温预热的食盐缝隙中

凝固, 由于食盐的导热性能差, 散热速度慢, 使得合金液的过冷度小, 形核能力差、凝固速度低, 初生相和共晶组织长大充分, 导致泡沫 Zn-22%Al 的微观组织比铸态 Zn-22%Al 合金的微观组织粗大^[12-13]。图 2(a)~(d)所示孔径为 1 mm、稀土 La 添加量分别为 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%的泡沫铝合金微观组织。

由图可见, 白色粗大的块为先析出来的富含铝的 α 相, 黑色基体为富含锌的 β 相, 其中弥散的点状颗粒为稀土的金属间化合物。随着 La 含量的增加, 先析出的富含铝的 α 相逐渐细化, 随着稀土添加量的继续增加, 结晶时, 非均质形核的核心也就越多, 形成的晶粒也就越细小。

图 3(a)~(d)所示为孔径为 1 mm、稀土 Ce 添加量分别为 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%的泡沫铝合金微观组织。由图可见, 白色粗大块同样为先析出的富含铝的 α 相, 黑色基体为富含锌的 β 相, 其中弥散的点状颗粒仍然是稀土的金属间化合物。随着铈含量的增加, 先析出的富含铝的 α 相逐渐细化, 晶粒也是越来越细小。

比较图 2 和图 3 可以看出, 稀土的加入使得合金的流动性增大, 散热速度变快, 同时合金液的过冷度变大, 凝固速度变快, 初生的 α 相来不及长大, 所以初生的 α 相比较细小, 两种稀土元素都起到了细化晶粒的作用。在稀土添加量相同时, 含 Ce 的稀土泡沫 Zn-22%Al 合金初生的 α 相比含 La 的稀土泡沫 Zn-22%Al 合金的要细小, 但差别不大。

2.2 阻尼性能分析

表 1 所列为用内耗 Q^{-1} 表示的未变质处理和分别用不同含量 La 和 Ce 变质处理的孔隙率为 70%的泡沫 Zn-22%Al 合金的阻尼性能。将测试结果做成内耗 Q^{-1} 随稀土含量变化的曲线, 如图 4 所示。可见, 未变质处理时, 泡沫 Zn-22%Al 合金的阻尼能力为 $Q^{-1}=4.04 \times 10^{-3}$, 随着稀土元素的加入, 泡沫 Zn-22%Al 合金的阻尼能力增大, 稀土 La 的加入量为 0.3%时, 阻尼能力达到最大值, 而稀土 Ce 的加入量为 0.3%时, 阻尼能力也达到最大值, 相对于未变质而言, 阻尼能力提高了近 3 倍, 再增加稀土添加量, 阻尼能力均下降, 且添加 Ce 后的阻尼能力略高于添加 La 的。

铝合金属于典型的复相型高阻尼合金^[14-16], 当受到外力作用后, 较硬的铝相与较软的铝相的界面将发生非弹性的粘滞性流动, 铝相要发生微塑性变形, 吸收外来的能量, 使得合金比较快的恢复到受力前的状态。稀土元素 Ce、La 的加入, 作为变质剂, 抑制晶粒的长大, 细化了晶粒。晶粒越细, 合金的晶界面

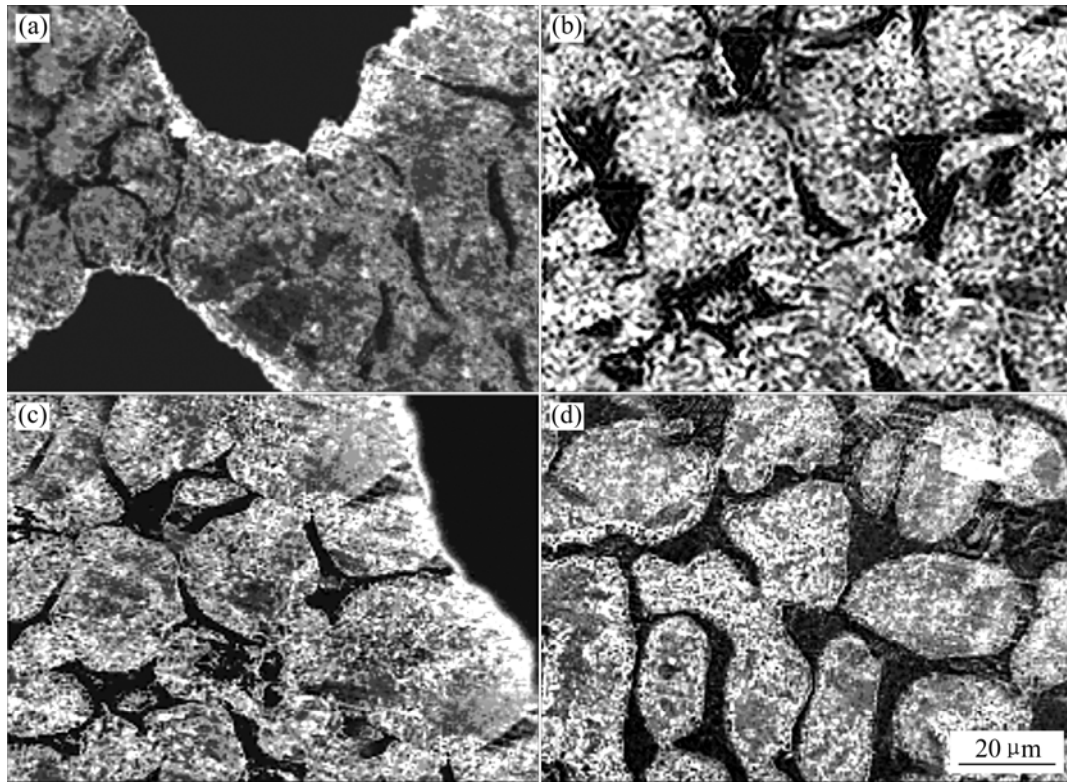


图 2 添加 La 的泡沫 Zn-22%Al 的微观组织

Fig.2 Microstructures of Zn-22%Al alloy foam with different La additions: (a) 0.1%La; (b) 0.3%La; (c) 0.5%La; (d) 0.7%La

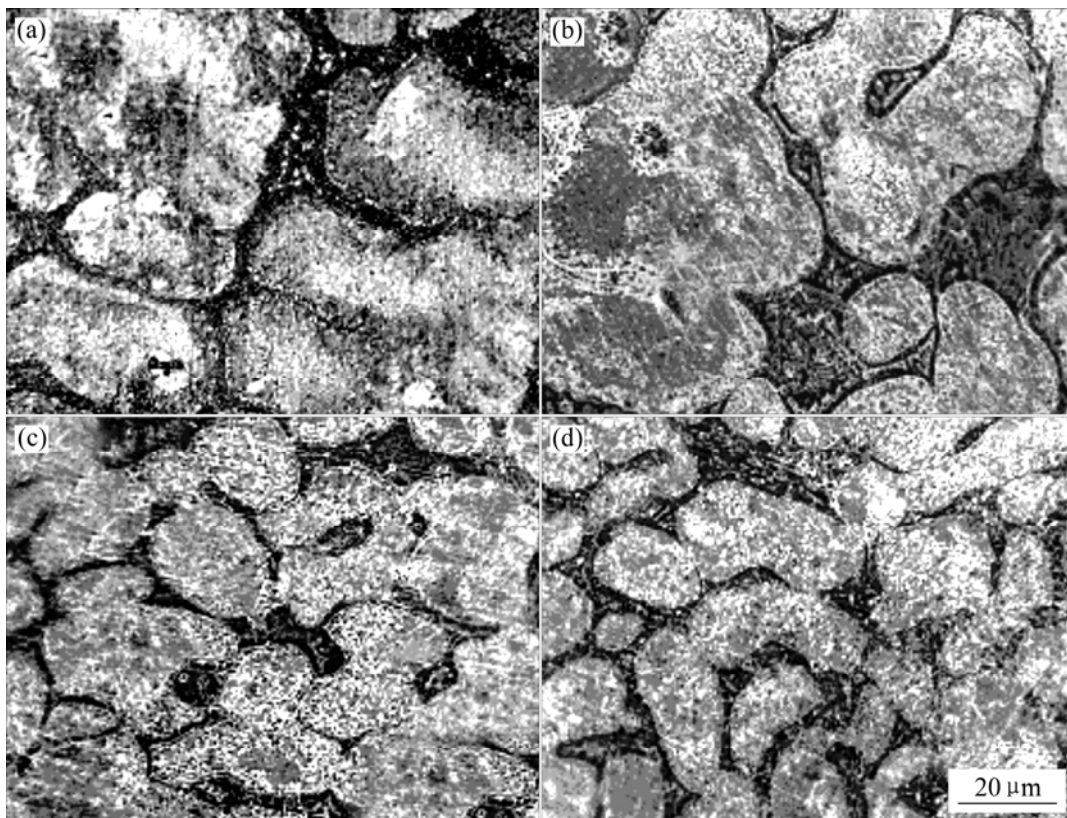


图 3 添加 Ce 的泡沫 Zn-22%Al 的微观组织

Fig.3 Microstructures of Zn-22%Al alloy foam with different Ce additions: (a) 0.1%Ce; (b) 0.3%Ce; (c) 0.5%Ce; (d) 0.7%Ce

表 1 稀土含量对阻尼内耗的影响

Table 1 Effect of contents of rare earths on damping capacity

w/%	$Q^{-1}/10^{-3}$ (addition La)	$Q^{-1}/10^{-3}$ (addition Ce)
0	4.04	4.04
0.1	7.02	6.55
0.3	13.77	15.20
0.5	12.68	12.35
0.7	8.66	11.23

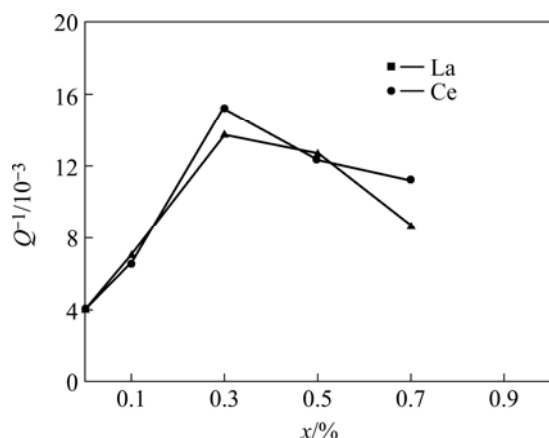


图 4 泡沫 Zn-22%Al 合金内耗随稀土元素添加量的变化

Fig.4 Changes of damping capacity of Zn-22%Al alloy foam with contents of rare earths

越多, 两相界面的非弹性粘滞性流动就越容易, 能量吸收就越多, 所以阻尼性能就越好。但并不是稀土加入量越多越好, 稀土元素在合金中以硬质相的金属间化合物^[17]存在, 若含量过多, 在晶界中就会阻碍两种界面的非弹性粘滞性流动, 在晶粒中就会对位错起到钉扎作用, 会使材料的阻尼能力的降低。

3 结论

1) 在泡沫锌铝合金中加入稀土元素 La 或 Ce 使组织明显得到细化, 同时提高了泡沫锌铝合金的阻尼能力; 当稀土元素的添加量为 0.3% 时(质量分数)有最佳的变质效果和最高的阻尼能力, 相对于未变质而言, 阻尼能力提高了近 3 倍。

2) 稀土泡沫锌铝合金的阻尼机制与相界面的非弹性粘滞性流动有关, 合金的相界面越多, 阻尼性能就越好。

REFERENCES

- [1] Banhart J. Manufacture characterizations and application of cellular metals and metal foams[J]. Process in Materials Science, 2001, 46: 559–632.
- [2] Mukai T, Miyoshi T, Nakano S, Somekawa H, Higashi K. Compressive response of a closed-cell aluminum foam at high strain rate[J]. Scripta Materialia, 2006, 54: 533–537.
- [3] Kim A, Hasan M A, Nahm S H, Cho S S. Evaluation of compressive mechanical properties of Al-foams using electrical conductivity[J]. Composite Structures, 2005, 71: 191–198.
- [4] Ruan D, Lu G, Ong L S, Wang B. Triaxial compression of aluminium foams[J]. Composites Science and Technology, 2006, 5: 005–022.
- [5] Jiang B, Zhao N Q, Shi C S, Li J J. Processing of open cell aluminum foams with tailored porous morphology[J]. Scripta Materialia, 2005, 53: 781–785.
- [6] Wicklein M, Thoma K. Numerical investigations of the elastic and plastic behaviour of an open-cell aluminium foam[J]. Mater Sci Eng A, 2005, A397: 391–399.
- [7] Despois J F, Marmottant A, Salvo L, Mortensen A. Influence of the infiltration pressure on the structure and properties of replicated aluminium foams[J]. Mater Sci Eng A, 2006, A8: 132–136.
- [8] Despois J F, Mueller R, Mortensen A. Uniaxial deformation of microcellular metals[J]. Acta Materialia, 2006, 54: 4129–4142.
- [9] LIU Pei-sheng, YU Bing, HU An-min, LIANG Kai-ming, GU Shou-ren. Techniques for preparation of porous metals[J]. J Mater Sci Technol, 2002, 18(4): 299–305.
- [10] Goodall R, Despois J F, Marmottant A, Salvo L, Mortensen A. The effect of preform processing on replicated aluminium foam structure and mechanical properties[J]. Scripta Materialia, 2006, 54: 2069–2073.
- [11] 罗兵辉, 柏振海, 谢佑卿. 微量 Sc 和 Zr 对锌铝共析合金微观结构和阻尼性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2002, 4: 725–728.
- LUO Bing-hui, BO Zhen-hai, XIE You-qin. Effect of trace Sc and Zr on microstructure and damping capacity of Zn-22%Al alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2002, 4: 725–728.
- [12] 庞绍平, 黄元峰, 石云宝, 张持重, 刘源. 铜对 Zn-22%Al 减振合金组织和力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(S1): 68–73.
- PANG Shao-ping, HUANG Yuan-feng, SHI Yun-bao, ZHANG Chi-zhong, LIU Yuan. Effects of La on microstructures and mechanical properties of Zn-22 %Al vibration damping alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(S1): 68–73.
- [13] 庞绍平, 石云宝, 李军, 杨彬久, 全梅花, 乔焰辉, 张持重. 铈对 Zn-22%Al 减振合金组织和力学性能的影响[J]. 中国稀

- 土学报, 2000, 18: 344–351.
- PANG Shao-ping, SHI Yun-bao, LI Jun, YANG Bin-jiu, QUAN Mei-hua, QIAO Yan-hui, ZHANG Chi-zhong. Effects of cerium on microstructures and mechanical properties of Zn-22%Al vibration damping alloy[J]. Journal of the Chinese Rare Earths Society, 2000, 18: 344–349.
- [14] WANG De-qing, XUE Wei-wei, MENG Xiao-jun, SHI Zi-yuan. Cell structure and compressive behavior of an aluminum foam[J]. Journal of Materials Science, 2005, 40: 3475–3480.
- [15] WANG Min, HU Xiao-fang, WU Xiao-ping. Internal microstructure evolution of aluminum foams under compression[J]. Material Research Bulletin, 2006, 41: 1949–1958.
- [16] 郝刚领, 韩福生, 吴 杰, 王清周. 利用界面层提高多孔铝阻尼能力的一种新方法[J]. 物理学进展, 2006, 26(3/4): 373–377.
- HAO Gang-ling, HAN Fu-sheng, WU Jie, WANG Qing-zhou. A novel technology for improving the damping capacity of porous aluminium by interface layer[J]. Progress in Physics, 2006, 26(3/4): 373–377.
- [17] 周善初, 罗兵辉. 微量稀土元素 La、Ce 对 Zn-Al 合金阻尼性能的影响[J]. 稀有金属与硬质合金, 1995, 122: 6–10.
- ZHOU Shan-chu, LUO Bing-hui. The effect of trace rare earth element La, Ce on the damping capacity of Zn-Al alloy[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 1995, 122: 6–10.
- (编辑 何学锋)