

# 稀土 La 及 Sn 对铸造铝合金组织、力学和阻尼性能的影响

周慧慧, 杨宁源, 张志豪

(北京科技大学 新材料技术研究院 材料先进制备技术教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 研究了稀土 La 对含质量分数 4%Sn 铸造铝合金组织、阻尼和力学性能的影响, 从 La 对 Sn 的形态和分布、La 对 Sn 和铝合金基体润湿特性的影响等方面探讨了阻尼提高机制。结果表明, La 含量为 0.2%时, 4%Sn 的 AlMgMnSi 合金晶粒尺寸得到细化,  $\beta$ -Sn 由大颗粒状变为细小、弥散分布, 继续提高 La 含量至 0.83%, 晶粒变大, 且在晶界处出现块状稀土化合物。La 的加入可以有效提高含 4%Sn 铸造铝合金的阻尼性能, 当 La 添加量为 0.2%时, 含 4%Sn 的 AlMgMnSi 和 ZL102 合金分别比不添加 La 的提高了约 70%和 100%。La 改善了  $\beta$ -Sn 与铝基体的润湿性, 使  $\beta$ -Sn 呈弥散、细小分布, 从而有利于提高相界面阻尼, 是本试样具有较高阻尼性能的主要原因。

**关键词:** 稀土 La; 铝合金; 阻尼性能; 润湿性

**中图分类号:** TG146.21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2021)03-0932-07

阻尼性能是衡量材料在机械振动或波传播过程中耗散弹性应变能的能力, 高阻尼材料在国防、航空航天、交通运输等领域具有广泛的应用需求<sup>[1]</sup>。通过不同程度地衰减噪声和振动, 高阻尼材料可有效提高构件或装备的稳定性、安全性和舒适性等<sup>[2,3]</sup>。例如, 汽车传动机齿轮运用高阻尼合金后, 噪声可降 4 dB; 船舶用 Mn-Cu 合金用于空间相机可使振幅降低 15%以上, 用于放射探测设备中可降低噪声水平 50%, 噪音降低 5~10 dB<sup>[4,5]</sup>。

通常, 金属材料的阻尼性能不及高分子材料, 但由于金属材料具有较好力学性能和较宽的使用温度范围, 对于拓宽结构件的服役条件更为有利<sup>[6]</sup>。目前常用的高阻尼金属材料包括 Mn-Cu<sup>[4]</sup>、Ni-Ti<sup>[7]</sup>、Zn-Al<sup>[8]</sup>等合金系列, 其中 Zn-Al 合金因其轻质、易成形加工、可热处理强化等优点一直是高阻尼金属材料研究领域的热点<sup>[8-10]</sup>。目前, 已开发了多种具有高阻尼的 Zn-Al 合金, 如 Zn-0.3%Al、Zn-12%Al、Zn-22%Al 和 Zn-27%Al 等, 但由于其组成以密度较大的 Zn 为主, 因此合金的密度相对较高, 约为 6.16 g/cm<sup>3</sup>。

考虑到轻量化和低成本, 高阻尼铝合金在减振降噪领域具有更广阔的应用前景, 有研究者采用微合金化<sup>[11]</sup>和引入高阻尼第二相<sup>[2,12]</sup>等方法提高铝合金的阻尼性能, 但由于 Al 的本征阻尼性能较低<sup>[13]</sup>, 阻尼损耗正切  $\tan\theta$  通常难以突破 0.02。

本工作前期研究结果表明, 在铝合金中加入 4%Sn 可提高其阻尼性能, 同时对力学性能影响较小, 但  $\tan\theta$  仍然较低, 在 0.15~0.02 之间。本研究在前期添加 4%Sn 铝合金的基础上, 研究了添加稀土 La 对含 4%Sn 铸造铝合金组织、阻尼和力学性能的影响, 从 La 对  $\beta$ -Sn 的分布、La 对  $\beta$ -Sn 和铝合金基体润湿特性的影响等方面探讨了阻尼提高机制。

## 1 实验

所选用的 AlMgMnSi 铝合金 (以下简称 AlMg 合金) 及 ZL102 的实测化学成分分别如表 1、表 2 所示。

首先按合金元素的质量比进行配料, 将石墨坩埚电炉在 200 °C 预热 2 h 后, 在表 1 的铝合金中添加质量分数 4%的 Sn (以下简称 AlSnMg 合金), 熔化后, 分别加

表 1 AlMg 铝合金成分

Table 1 Composition of AlMg aluminum alloy ( $\omega/\%$ )						
Mg	Mn	Si	Cu	Zn	Fe	Al
0.87	0.87	0.62	0.22	0.039	0.18	Bal.

表 2 ZL102 铝合金成分

Table 2 Composition of ZL102 aluminum alloy ( $\omega/\%$ )						
Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Al
8.5	0.23	0.28	1.96	1.32	0.7	Bal.

收稿日期: 2020-03-10

基金项目: 佛山市核心技术攻关项目 (1920001000409); NSFC-辽宁联合基金 (U1708251)

作者简介: 周慧慧, 女, 1995 年生, 硕士生, 北京科技大学新材料技术研究院, 北京 100083, E-mail: 18842038542@163.com

入不同含量的 La, 其中稀土添加采用 Al-20%La 中间合金, 稀土名义添加量为 0.1%~1.5%, 充分搅拌均匀, 静置 30 min 后, 在 720 °C 将铝液倒入模具中冷却。但由于铸造过程中稀土元素的烧损, 铸锭中稀土的实际含量有所降低, 如表 3 所示。ZL102 铝合金制备过程和 AlSnMg 相同, 名义含量为 0.3%La 的实际含量为 0.2%。

采用线切割从铸锭中取样, 试样经机械抛光后采用 Graff 试剂 (配比为: 1 mL HF+16 mL HNO<sub>3</sub>+3 g CrO<sub>3</sub>+83 mL 蒸馏水) 侵蚀, 采用型号为 Axio Imager.A2m 型金相显微镜 (OM) 和 Phenom 电子显微镜 (SEM+EDS) 观察试样的组织。

根据国标标准切取拉伸试样, 采用型号 CMT5105 型材料万能试验机进行室温力学性能测试, 拉伸速率为 1 mm/min。通过测量断后试样标距的变化, 计算得到断后伸长率。

切取 40 mm×10 mm×2 mm 的试样, 采用 DMA Q800 动态热分析仪测试试样的阻尼损耗正切  $\tan\theta$ , 测试频率为 1~50 Hz, 温度范围 20~200 °C, 升温速率为 5 °C/min, 振幅为 5  $\mu\text{m}$ 。为了减少铸造和试样机械加工带来的残余应力导致测试结果的误差, 对阻尼测试和拉伸试样均进行 200 °C/2 h 退火处理。

采用型号为 OCA20LHT-SV 的高温润湿角测量仪分析纯 Sn 与铝合金及含 La 铝合金的润湿性, 纯 Sn 试样尺寸为 5 mm×5 mm×5 mm, 铝合金及含 La 铝合金基体的尺寸为 20 mm×20 mm×5 mm, 测试时炉内真空度  $1\times 10^{-5}$  Pa, 升温速率 5 °C/min、保温温度 300 °C。

## 2 实验结果

### 2.1 稀土含量对 AlSnMg 合金组织的影响

AlMg 合金试样和不同 La 含量的 AlSnMg 合金试样的金相组织如图 1 所示。对比图 1a 和 1b 可以看出, 加入 Sn 后试样中存在较多黑色的颗粒状析出物及其聚集, 尤其在晶界处更为明显, 结合能谱和相图可以确定黑色颗粒为  $\beta$ -Sn, 这与文献[14]中 Sn 在 Al-Mg-Si 合金中的观察结果类似。

由图 1 表明,  $\beta$ -Sn 的形貌分布以及晶粒大小均随着稀土含量的变化而变化。当稀土 La 含量从 0.0% (图 1b)

增加至 0.2% (图 1c) 时, 试样的晶粒得以细化, 晶界处的大颗粒状  $\beta$ -Sn 也随着稀土含量的增加而变得细长, 且弥散的分布在晶界处, 同时, 晶内的  $\beta$ -Sn 也变得更为细小, 有些甚至消失。当 La 含量进一步提高至 0.83%, 晶粒开始变大, 并且在晶界处出现块状相, 经能谱分析表明块状的相富含 La, 因此可认为块状的相是富 La 化合物, 如图 1d 所示。

### 2.2 稀土含量对 AlSnMg 合金阻尼性能的影响

AlMg 合金以及含 0.0%La、0.03%La 的 AlSnMg 合金阻尼性能测试结果如图 2 所示。由图 2 表明, AlMg 合金的阻尼值  $\tan\theta$  随温度的升高变化较小, 而 AlSnMg 合金和加入 0.03%La 的 AlSnMg 合金的阻尼值随温度的升高而明显增大。AlSnMg 合金的室温阻尼值为 0.015, 比 AlMg 合金的 0.01 提高了 50%, 而且测试温度越高, 阻尼值提高得越明显。在 AlSnMg 合金中加入 0.03%La, 室温条件下的阻尼值为 0.022, 比不加 La 的提高了 46%, 比 AlMg 合金阻尼值增加了 120%。可见, 添加 4%Sn 可有效提高 AlMg 合金的阻尼性能, 加入 0.03%La 后又能进一步提高其阻尼性能。

阻尼性能与振动频率有关, 在高频率下阻尼值越高, 说明其阻尼性能越好, 抗振能力更强, 减振降噪效果更好。图 3 给出了室温条件下 AlMg 合金、不含 La 以及添加 0.2%La 的 AlSnMg 合金试样在不同频率下的阻尼测试结果。

由图 3 可知, 在频率为 1~50 Hz 范围内, 添加 0.2%La 的 AlSnMg 试样的阻尼值最高,  $\tan\theta$  为 0.026

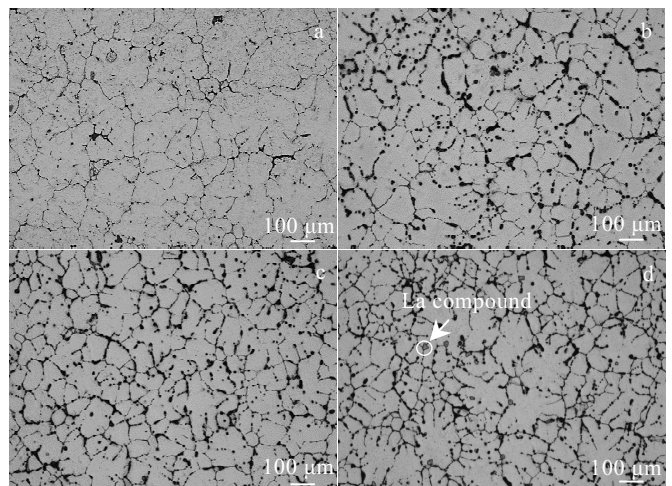


图 1 AlMg 合金和不同 La 含量 AlSnMg 合金的金相组织  
Fig.1 OM images of AlMg alloy (a) and AlSnMg alloy with different La contents: (b) 0.0%La+AlSnMg, (c) 0.2% La+AlSnMg, and (d) 0.83%La+AlSnMg

表 3 铸锭中稀土 La 含量

Table 3 Content of rare earth La in ingot ( $\omega/\%$ )						
Number	1	2	3	4	5	6
Nominal	0	0.1	0.3	0.5	1.0	1.5
Reality	0	0.03	0.2	0.29	0.83	0.97

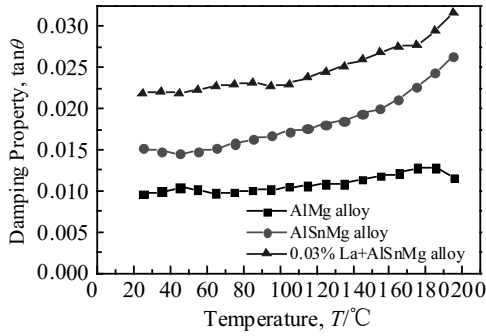


图 2 不同成分含量的铝合金随温度变化的阻尼性能

Fig.2 Variation of damping properties of Al alloys with different La contents with temperature (1 Hz)

~0.04; AlSnMg 合金其次,  $\tan\theta$  为 0.015~0.024; AlMg 合金最低,  $\tan\theta$  为 0.01~0.023。其中, 添加了 0.2%La 的 AlSnMg 合金的阻尼值比不加稀土的阻尼值增加了 70%, 频率越高, 增幅越大。由此可以认为, 添加了稀土 La 的 AlSnMg 合金在高频状态下也能拥有较高的阻尼性能, 减振降噪效果更好。

对不同 La 含量的 AlSnMg 合金 (1#~6#) 室温阻尼性能的多次测试结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出, AlSnMg 合金的阻尼值  $\tan\theta$  随着 La 含量的增加先增大后减小。当 La 含量为 0.2% 时, 阻尼值达到最大, 约为 0.026, 比不加稀土的阻尼值 0.015 增加了 70% 左右。与 AlMg 合金相比, 添加 0.2%La 的 AlSnMg 合金阻尼值的提高幅度更大, 为 150%。当 La 含量进一步增加时, 合金的阻尼值开始下降。综上所述, 在本实验条件下, AlSnMg 合金中添加 0.2%La 时的阻尼性能最好。

综合图 2、图 3、图 4 的测试结果, 可以看出在同一频率下, 合金的阻尼随温度的增加而增大, 添加 La

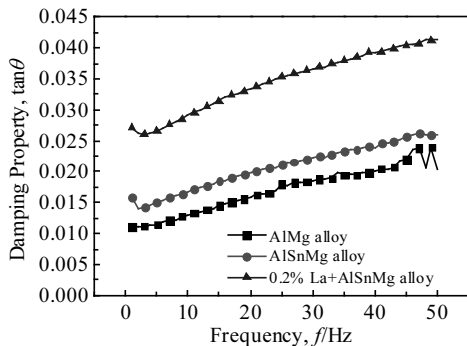


图 3 0.2%La+AlSnMg、AlSnMg 和 AlMg 合金随频率变化的阻尼性能 (25 °C)

Fig.3 Variation of damping properties of 0.2%La+AlSnMg, AlSnMg and AlMg alloy with frequency (25 °C)

的 AlSnMg 合金的阻尼值比不含 La 的提高幅度大。合金的阻尼会随着频率的增加而增大, 随着频率的增加, 含 0.2%La 的 AlSnMg 合金的阻尼比不含 La 的增加的幅度大。随着 La 含量的增加, 阻尼值先提高后降低, La 含量为 0.2% 时阻尼性能最好。

### 2.3 稀土对 AlSnMg 合金力学性能的影响

AlSnMg 合金和含 0.2%La 的 AlSnMg 合金的拉伸应力-应变曲线如图 5 所示。其中 AlSnMg 合金的抗拉强度为 151 MPa, 断后伸长率为 0.3%。0.2%La+AlSnMg 合金的抗拉强度为 155 MPa, 断后伸长率为 1%, 两者的强度类似, 但后者塑性更好。结合其金相组织 (图 1), 含有 0.2%La 的 AlSnMg 合金晶粒细化, 晶界处  $\beta$ -Sn 的分布更为细小弥散, 所以其力学性能要稍高于 AlSnMg 合金。考虑其阻尼和力学性能, 含有 0.2%La 的 AlSnMg 合金具有更好的综合性能。

### 2.4 稀土和 Sn 对 ZL102 铝合金阻尼性能的影响

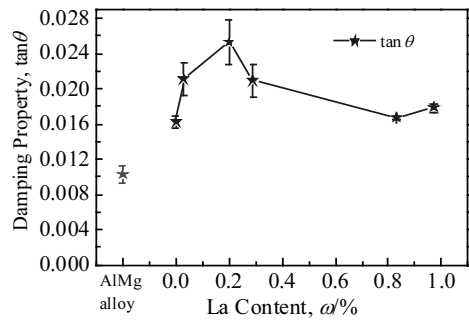


图 4 AlSnMg 合金试样的阻尼性能随稀土含量的变化 (25 °C/1 Hz)

Fig.4 Change of damping properties of AlSnMg alloy with La content (25 °C/1 Hz)

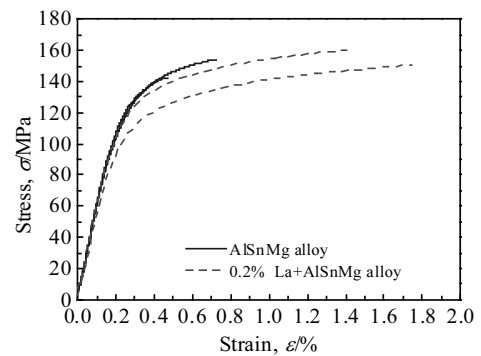


图 5 含 La 及不含 La 的 AlSnMg 合金应力-应变曲线

Fig.5 Stress-strain curves of AlSnMg alloy with and without La

ZL102 及加 4%Sn、0.2%La 试样的阻尼测试结果如图 6 所示。在 25 °C 条件下, 随着频率的增加, 添加 0.2%La 和 4%Sn 的 ZL102 的  $\tan\theta$  在 0.0325~0.046 变化; ZL102 的阻尼值  $\tan\theta$  在 0.0171~0.025 变化。在 25 °C、1 Hz 条件下添加 0.2%La 和 4%Sn 的 ZL102 的阻尼值为 0.0325, 比 ZL102 的 0.0171 提高了近 100%。

上述阻尼性能和力学性能测试结果可知, 在含 4%Sn 的 AlMg 合金中加入 La 可以有效地提高合金的阻尼性能, 在 La 含量为 0.2%时达到最大, 其力学性能也相对较好。在 ZL102 中加入 0.2%La 和 4%Sn 同样可以有效提高其阻尼性能。因此, 在实际生产应用中, 可以通过添加 0.2%La 和 4%Sn 来提高铸造铝合金的综合性能。

### 3 讨论

#### 3.1 Sn 在铝合金基体的形貌和分布特征

从力学性能和阻尼性能测试中可以看出, La 的添加对 AlSnMg 合金的力学和阻尼性能均有提升。含 0.2%La 时, AlSnMg 合金的阻尼性能达到最大, 力学性能也相对较好。结合合金的金相组织(图 1)可以看出, 稀土的加入可以在一定程度上细化合金的晶粒, 当稀土添加量至 0.2%时, 晶粒尺寸有所减小, 当稀土量超过一定的范围, 则合金的晶粒尺寸增大, 并且产生较大的稀土化合物, 虽然文献[15]提到, 晶粒的细化可以增加晶界面积, 有利于提高合金的晶界阻尼。但本研究稀土添加后合金试样的晶粒细化程度较小, 但阻尼性能却大幅提高。因此, 晶粒细化不是阻尼性能提高的主要原因。

添加不同稀土含量的 AlSnMg 合金中  $\beta$ -Sn 和 Sn

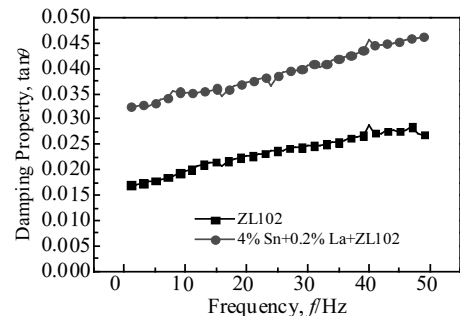


图 6 室温下 0.2%La+4%Sn 对 ZL102 阻尼性能的影响  
Fig.6 Effect of 0.2%La and 4%Sn on ZL102 damping properties at room temperature

元素的能谱分析如图 7 所示。从图 7 可以看出, AlSnMg 合金中  $\beta$ -Sn 的分布较为分散, 且聚集成大颗粒状, 如图 7a 和 7d 所示; 添加 0.2%La 后,  $\beta$ -Sn 的分布更加细小、弥散, 如图 7b 和 7e 所示; 当稀土含量增加至 0.83%时,  $\beta$ -Sn 的分布开始呈部分块状, 如图 7c 和 7f 所示。

根据 SEM 和 EDS 分析结果, 可得到  $\beta$ -Sn 在不同铝合金基体上的形貌和分布示意图, 如图 8 所示。其中图 8a 表示的是  $\beta$ -Sn 在 AlMg 合金上的分布, 图 8b 表示  $\beta$ -Sn 在添加稀土后 AlMg 合金界面上的分布状况。从图中可以清晰直观地看到稀土 La 的加入可有效改变  $\beta$ -Sn 的分布状况, 从大块状变为细小、弥散分布。

不同 La 含量的 AlSnMg 合金的 SEM 扫描结果如图 9 所示。从图 9a 可以看出, 当 AlMg 合金中只含有 4%Sn 时, Sn 块无法全部浸润在基体上, 部分  $\beta$ -Sn

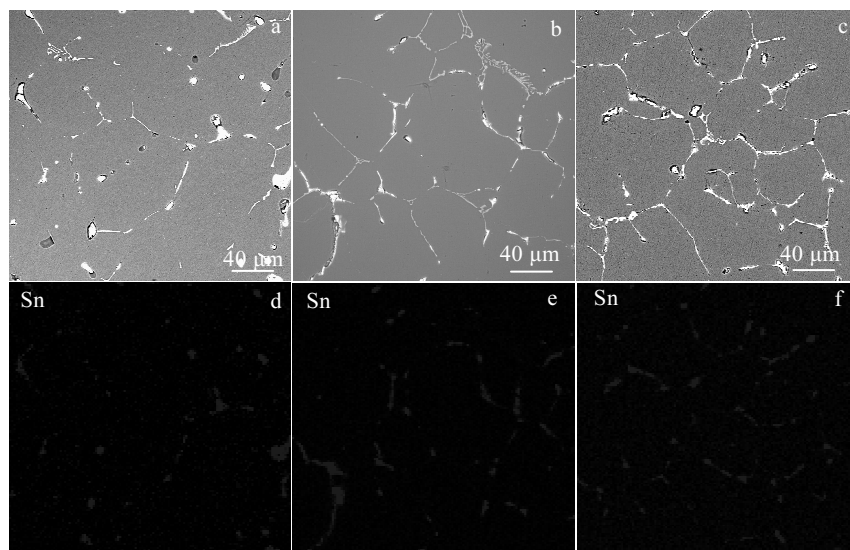


图 7 不同 La 含量的 AlSnMg 合金试样的能谱分析

Fig.7  $\beta$ -Sn distribution corresponding EDS element mapping (d-f) of element Sn for AlSnMg samples with different La contents: (a, d) 0%, (b, e) 0.2%, (c, f) 0.83%

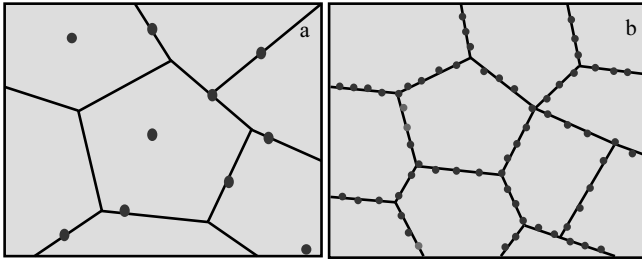


图 8  $\beta$ -Sn 在不同铝合金基体上的形貌和分布

Fig.8  $\beta$ -Sn morphology and distribution on different aluminum alloy substrates: (a) AlMg alloy and (b) AlMg alloy with La

会聚集成块，分布在晶界和界面上，呈大颗粒状分布；当 AlSnMg 合金中加入 0.2% 的 La 后，几乎全部的  $\beta$ -Sn 都分散在晶界处，在晶界处的分布更加细小，大部分呈线状连续分布并且都浸润在界面上，如图 9b 所示。当 La 含量继续增加至 0.83% 时，较大的稀土化合物分布在晶界处，如图 9c 所示。图 9a、9b 对比发现，当不含稀土时， $\beta$ -Sn 会聚集在晶界处形成大颗粒状，当 La 含量为 0.2% 时， $\beta$ -Sn 大部分在晶界处的分布更浸润；图 9b、图 9c 对比发现，当稀土含量增加至 0.83%

时，存在较大的稀土化合物，晶界处也有部分  $\beta$ -Sn 的块状物。文献[16]指出，细小的析出相对合金的性能有所提升，但较大的析出相对合金的性能产生不利的影响，降低合金的阻尼性能。图 9c 中，大部分的稀土化合物分布在晶界处，明显地影响了晶界阻尼，降低了合金的阻尼性能。因此，含 0.83%La 的 AlSnMg 合金阻尼性能较差。图 9 也证明了 La 是通过改变  $\beta$ -Sn 在晶界处的分布，以及产生的稀土化合物对 AlSnMg 合金的晶界和相界面阻尼<sup>[17]</sup>性能产生影响的。

### 3.2 Sn 与铝合金基体的润湿特征

以纯 Sn 为试样，加 La 和不加 La 的铝合金为基体，进行润湿性实验。实验过程发现当 Sn 开始熔化 20 min 后，纯 Sn 的形状不再随保温时间的延长而变化，因此采集试样原始形貌、开始熔化以及熔化后保温 20 min 的熔体形貌照片，实验结果如图 10 所示。

由图 10 表明，纯 Sn 与铝合金的润湿角要大于纯 Sn 与含 La 铝合金的润湿角。其中纯 Sn 与铝合金基体的左右夹角分别为 138.8°和 137.6°，平均为 138.2°，如图 10a 所示；纯 Sn 与含 La 铝合金基体的左右夹角分别为 115.28°和 123.7°，平均为 119.5°，如图 10b 所示。基体与实验对象的润湿角越小，两者的润湿性越好，图 10 说明 Sn 与添加稀土 La 后的铝合金的润湿效果更好。

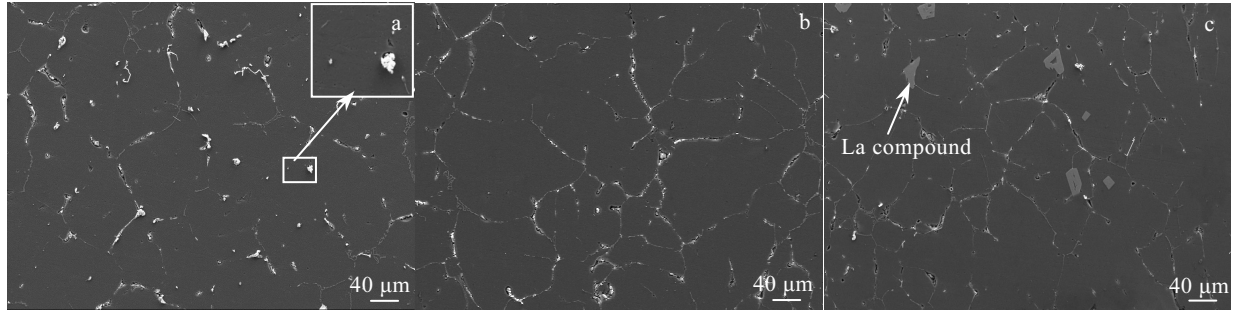


图 9 不同 La 含量的 AlSnMg 合金 SEM 照片

Fig.9 SEM images of AlSnMg alloys with different La contents: (a) 0%, (b) 0.2%, and (c) 0.83%

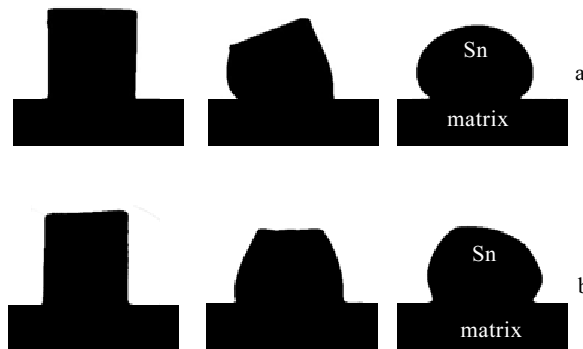


图 10 纯 Sn 在不含 La 和含 La 铝合金基体上的润湿过程

Fig.10 Wetting process of pure Sn on La free (a) and LaAl alloy (b) matrix

润湿性提高通常表明析出相和基体的界面结合强度提高, 界面阻尼性能会下降<sup>[18]</sup>。但润湿性的提高表面张力减小, 使界面能降低, 有利于凝固过程形核率的提高<sup>[19]</sup>。对于本研究试样, 由于 La 提高了  $\beta$ -Sn 与铝合金基体的润湿性, 导致  $\beta$ -Sn 更为弥散和细小。

因此, 稀土 La 提高 AlSnMg 合金阻尼的主要原因是稀土 La 的加入使  $\beta$ -Sn 的分布更弥散细小 (图 8), 导致相与基体的界面面积增加, 从而有利于相界面阻尼性能的提高。

表 4 给出了较高阻尼性能的 Zn 合金与铝合金的阻尼性能对比<sup>[20-22]</sup>。Zn-Al 合金为常见的高阻尼合金, 在铸造条件下, 其阻尼达到 0.025, 但 Zn 的密度为 7.14 g/cm<sup>3</sup>, 远大于 Al 的密度 2.70 g/cm<sup>3</sup>, 因此 Zn-Al 合金虽然阻尼性能高但密度也大。对于铝合金, 为了提高其阻尼性能通常需要加入较高含量的 Zn, 通常会达到 35%~45%, 高含量的 Zn 通常会导致铝合金密度增大。飞灰空心球/铝基复合材料的密度为 1.49 g/cm<sup>3</sup>, 且阻尼可达 0.02, 但其阻尼性能与材料的孔隙率相关, 而且使用的压力浸渗设备较昂贵且在制备过程中工艺控制难度较大, 不适宜大范围使用。本研究通过在 4%Sn 铝合金里添加 0.2%La 可以使阻尼值达到 0.026, 明显高于高 Zn 铝合金, 与高阻尼的 Zn-Al 合金相当甚至略高, 且密度要远小于高 Zn 铝合金和 Zn-Al 合金。本研究制备的 0.2%La+4%Sn 铝合金具有制备工艺简单、阻尼性能好、密度较低等优点。

表 4 铝基复合材料及铝锌合金的阻尼性能

Table 4 Damping properties of aluminum matrix composites and Al-Zn alloys (25 °C/1 Hz)

Material	Method	$\tan\theta$	Theoretical density/g·cm <sup>-3</sup>	Ref.
Zn-27%Al	Found	0.025	4.94	[20]
Al-45%Zn-0.6%Ti	Found	0.015	3.76	[21]
Al-45%Zn-0.6%Zr	Found	0.013	3.72	[21]
Al-35%Zn	Found and hot rolling	0.014	3.45	[22]
Fly ash cenosphere/Al	Pressure infiltration	0.02	1.49	[12]
AlSnMgMnSi-0.2%La	Found	0.026	2.77	This work

## 4 结 论

1) 随着稀土 La 含量增加至 0.2%, 含 4%Sn 的 AlMgMnSi 合金晶粒尺寸减小,  $\beta$ -Sn 由大颗粒状变为细小颗粒、并弥散分布在晶界处; 当稀土 La 含量增加至 0.83%, 晶粒变大, 并且在晶界处出现较大的块状

稀土化合物。

2) 稀土 La 的加入可以有效提高含 4%Sn 铸造铝合金的阻尼性能, 当 La 添加量为 0.2%时, 含 4%Sn 的 AlMgMnSi 和 ZL102 合金阻尼性能分别比不添加 La 的提高约 70%和 100%。

3) 在本实验条件下, 纯 Sn 在不含 La 和含 La 铝合金基体的润湿角分别为 138.2°和 119.5°, 表明 La 的加入改善了  $\beta$ -Sn 与铝基体润湿性。润湿性的提高, 使试样中  $\beta$ -Sn 更为弥散、细小, 有利于相界面阻尼的提高。

## 参考文献 References

- [1] Yang Zhichun(杨智春), Wen Jinpeng(温金鹏), Li Bin(李斌) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(8): 1360
- [2] Wang Dayu, Xie Weijun, Wei Jianning *et al. Physics Letters A*[J], 2007, 366(1-2):134
- [3] Zhang Zhongming(张忠明), Liu Hongzhao(刘宏昭), Wang Jincheng(王锦程) *et al. Functional Materials*(功能材料)[J], 2001, 32(3): 227
- [4] Lu Fengshuang (卢凤双), Rui Yongling(芮永岭), Tian Yupeng(田宇鹏) *et al. Metallic Functional Materials*(金属功能材料)[J], 2013, 20(4): 43
- [5] Wang Nailiang(王乃亮), Ji Puguang(冀璞光), Yin Fuxing(殷福星) *et al. Journal of Hebei University of Technology*(河北工业大学学报)[J], 2017, 46(3): 88
- [6] Wang Jingfeng(王敬丰), Gao Shan(高珊), Pan Fusheng(潘复生) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2009, 38(6): 1029
- [7] Luo Yuanyuan(罗媛媛), Zhao Yongqing(赵永庆), Hou Zhimin(侯智敏) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(2): 285
- [8] Wang Jinhua(王进华), Fei Zheng(裴政), Lian Fukui(连付奎). *Ordnance Material Science and Engineering*(兵器材料科学与工程)[J], 2004, 27(1): 13
- [9] Pang Shaoping(庞绍平), Shi Yunbao(石云宝), Huang Yuanfeng(黄元峰) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2000, 29(3): 204
- [10] Ma Yue(马岳), Zhao Haitao(赵海涛), Han Haijun(韩海军) *et al. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*(北京航空航天大学学报)[J], 2005, 31(2): 121
- [11] Chen Yong, Liu Chongyu, Zhang Bing *et al. Materials Characterization*[J], 2018, 135: 25
- [12] Zhu Xuan(朱璇). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012

- [13] Jiang Hongjie, Liu Chongyu, Zhang Bing *et al.* *Materials Characterization*[J], 2017, 131: 425
- [14] He Chuan, Luo Binghui, Zheng Yaya *et al.* *Materials Characterization*[J], 2019, 156: 109 836
- [15] Jiang Hongjie, Zhang Bing, Liu Chongyu *et al.* *Acta Metallurgica Sinica*[J], 2019, 32(9): 1135
- [16] Chen Yong, Liu Chongyu, Ma Zongyi *et al.* *Materials Characterization*[J], 2019, 157: 109 892
- [17] Hu Jie, Wu Gaohui, Zhang Qiang *et al.* *Composites Part B*[J], 2014, 66: 400
- [18] Wang Shuibing(王水兵). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Chongqing: Southwest University, 2009
- [19] An Geying(安阁英). *Theory of Casting Formation*(铸件形成理论)[M]. Beijing: China Machine Press, 1990: 79
- [20] Girish B M, Prakash K R, Satish B M *et al.* *Materials and Design*[J], 2011, 32(2): 1050
- [21] Wang Fengyang(王峰阳). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017
- [22] Jiang Hongjie, Liu Chongyu, Ma Zongyi *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2017, 722: 138

## Effect of Rare Earth La and Sn on Structure, Mechanical and Damping Properties of Cast Aluminum Alloy

Zhou Huihui, Yang Ningyuan, Zhang Zhihao

(Key Laboratory of Advanced Material Preparation Technology, Institute for Advanced Materials and Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The influence of rare earth La on the microstructure, damping and mechanical properties of cast aluminum alloy containing 4wt% Sn was studied. The damping improvement mechanism was discussed from the effect of La on the morphology and distribution of Sn, and wetting characteristics of Sn and aluminum alloy matrix. The results show that when the La content is 0.2wt%, the grain size of AlMgMnSi alloy containing 4wt% Sn is improved, and the  $\beta$ -Sn changes from large granular to fine, and dispersively distributed. As the La content increases to 0.83wt%, the grain size becomes larger and the bulk rare earth compounds appear at grain boundary. The addition of La can effectively improve the damping performance of the cast aluminum alloy containing 4wt% Sn. When the La addition amount is 0.2wt%, the damping property of AlMgMnSi with 4wt% Sn and ZL102 alloy increases by about 70% and 100%, respectively. La improves the wettability of  $\beta$ -Sn and aluminum matrix, and makes the  $\beta$ -Sn exhibit dispersion and fine distribution, thus improving the phase interface damping, which is the reason for the high damping performance of the samples.

**Key words:** rare earth La; aluminum alloy; damping property; wettability

---

Corresponding author: Zhang Zhihao, Professor, Institute for Advanced Materials and Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China, Tel: 0086-10-62332253, E-mail: ntzzh2279@163.com