

RE及 A15TB对 ZA84镁合金阻尼性能的影响

王建强¹ 赵田臣¹ 王迎新²

(1 石家庄铁道学院材料分院,石家庄 050043)

(2 轻合金精密成型国家工程研究中心,上海 200030)

文 摘 研究了变质剂 RE及 A15TB对 Mg - 8Zn - 4Al - 0.3Mn(ZA84)镁合金阻尼性能的影响。研究表明,RE的加入降低了合金在低温 (<80)时的阻尼性能,但明显提高了合金在高温 (80)时的阻尼性能;而 A15TB的加入则同时提高了合金室温及高温阻尼性能。经 A15TB变质的合金在室温时即表现出了 $Q^{-1}=0.01$ 的高阻尼。由于高温下合金中相的软化及界面的粘性滑动,ZA84镁合金在高温时存在一个温度内耗峰,加入 RE后推迟了合金中温度内耗峰的出现温度。分析认为,加入 RE及 A15TB后合金的阻尼机制主要是位错机制和界面机制。可动位错密度越高,晶粒越细,晶界和相界面越多,阻尼性能越好。

关键词 RE,A15TB,变质处理,镁合金,阻尼

Effect of RE and A15TB on Damping Properties of ZA84 Magnesium Alloys

Wang Jianqiang¹ Zhao Tianchen¹ Wang Yingxin²

(1 School of Materials Science & Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043)

(2 Light Alloy Net Forming National Engineering Research Center, Shanghai 200030)

Abstract The effect of inoculation on the damping capacity of Mg - 8Zn - 4Al - 0.3Mn alloys is studied. The results show that by the addition of RE, the damping capacity of ZA84 alloys is reduced at low temperature, while the damping capacity at high temperature is obviously improved. The damping capacity of ZA84 alloys at both low temperature and high temperature is improved by the addition of A15TB. The damping capacity can reach $Q^{-1}=0.01$ at room temperature by the addition of A15TB. There exists a damping peak in all of the alloys at different temperature because of the viscous sliding or slipping of the grain boundaries and interfaces at high temperature. It is found that the addition of RE can delay the temperature of damping peak. The main damping mechanism of ZA84 magnesium alloys with RE and A15TB is the interface damping and the dislocation damping. The more the dislocations and grain boundaries or interfaces are, the higher the damping capacity of ZA84 alloy.

Key words RE, A15TB, Inoculation, Magnesium alloy, Damping capacity

1 引言

振动和噪声严重破坏设备运行的稳定性和可靠性,因此减振、降噪是一个亟待解决的问题^[1],解决方法中阻尼技术是最重要的。阻尼可分为系统阻

尼、结构阻尼和材料阻尼。其中材料阻尼是依靠材料本身所具有的高阻尼特性来达到减振降噪的目的。因此,研究材料阻尼行为,开发具有高阻尼性能的结构材料对于解决由振动造成的问题具有十分重要

收稿日期:2005 - 10 - 09

作者简介:王建强,1977年出生,硕士,主要从事新型轻合金材料方面的研究

要的意义,也是目前材料科学工作者的重要任务之一^[2]。Mg-8Zn-4Al-0.3Mn(ZA84)是一种新型的耐热镁合金,这种合金具有良好的室温及高温力学性能,且成本低廉^[3]。研究表明^[3-4],变质剂 RE 及 Al5TiB 能够显著改善这种合金的力学性能,但这两种变质剂在改善材料力学性能的同时是否会降低其阻尼性能尚未见报道。本文研究了变质剂 RE 及 Al5TiB 对 ZA84 镁合金阻尼性能的影响。

2 实验

原材料分别为 Mg(纯度 99.95%), Zn(纯度 99.5%), Al(纯度 99.5%), Mn 以 Al-10%(质量分数)Mn 中间合金形式加入。井式坩埚炉熔炼。熔炼过程中用 JDRJ 型熔剂保护,金属型浇注。制备合金的化学成分如表 1 所示。

表 1 合金的化学成分

Tab 1 Chemical Compositions of alloys

合金编号	%(质量分数)					
	Zn	Al	Mn	RE	Al5TiB	Mg
1 [#]	8.0	4.0	0.3	0	0	余量
2 [#]	8.0	4.0	0.3	1.5	0	余量
3 [#]	8.0	4.0	0.3	0	0.25	余量

金相试样采用 acetic-picral^[5] 腐蚀剂,显微结构观察采用 Olympus 光学显微镜和 JSM-580ILV 型扫描电镜(SEM),微区成分分析采用 Oxford 型能量色散谱仪(EDS)。阻尼试样用电火花线切割成矩形,试样尺寸为 35 mm × 5 mm × 1 mm。阻尼测试在 DMA2980 型动态机械热分析仪上进行,形变方式为单悬臂。测试时应变振幅设定为 $\epsilon = 1 \times 10^{-4}$ 。测试频率为 0.1 Hz。在升温过程中,每隔 5 作一次频率扫描。

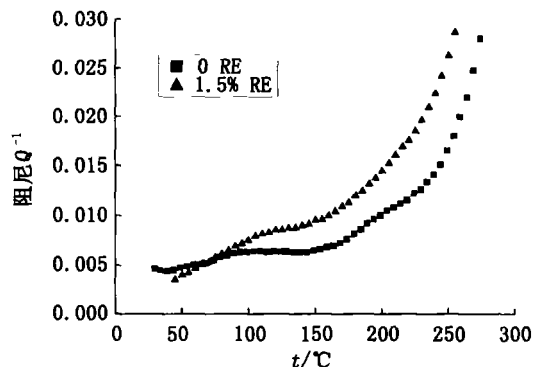
3 试验结果

3.1 阻尼性能

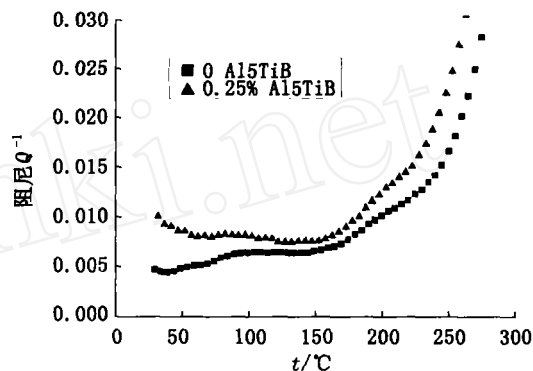
无变质合金与加入 1.5% RE 合金在 0.1 Hz 下的阻尼-温度谱如图 1(a)所示,无变质合金与加入 0.25% Al5TiB 合金在 0.1 Hz 下的阻尼-温度谱如图 1(b)所示。

由图 1(a)可以看出,加入 RE 降低了合金在室温下的阻尼性能,但随着温度的升高,加入 RE 合金的阻尼性能迅速提高,在 80 左右时阻尼性能已超过了无变质合金。显然这对 ZA84 这种具有良好高温力学性能的新型镁合金是十分有益的。另外,随宇航材料工艺 2006 年 第 4 期

着温度的升高,合金中出现了明显的温度内耗峰。其中无变质合金中出现在 100 左右,而加入 RE 的合金则出现在 120 左右。可见 RE 的加入推迟了合金中温度内耗峰的出现温度。



(a) 无变质合金与 1.5% RE



(b) 无变质合金与 0.25% Al5TiB

图 1 变质前后 ZA84 镁合金的阻尼特性

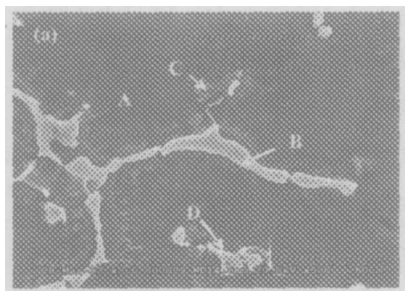
Fig 1 Damping capacity of ZA84 alloys with or without inoculation

由图 1(b)可以看出,Al5TiB 加入后,不仅提高了合金在高温下的阻尼性能,而且使合金在低温下的阻尼性能也大大提高。特别值得注意的是,加入 0.25% Al5TiB 的合金在室温时即表现出 $Q^{-1} = 0.01$ 的高阻尼性能,这对 ZA84 合金的生产应用具有十分重要的意义。

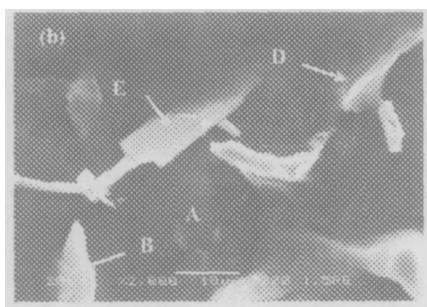
3.2 显微组织

图 2 是 RE 加入前后合金中的相组成。表 2 是图 2 中各点的 EDS 测定结果。由图 2 及表 2 可见,无变质合金的组织为:基体 (Mg) 固溶体,白色的三元相 ($Al_2Mg_3Zn_2$) 相, $[Mg_{52}(Al, Zn)_{49}]$ 相以及因不平稳凝固而形成的共晶 (Mg) 相;加入 1.5% RE 后合金的组织为基体 (Mg) 固溶体,白色的三

元相 $(Al_2Mg_5Zn_2)$ 相, $[Mg_{32}(Al, Zn)_{49}]$ 相及四元相 $(Mg_5Al_4Zn_2RE)$ 。



(a) 无变质合金



(b) 1.5% RE

图 2 RE加入前后合金的 SEM形貌

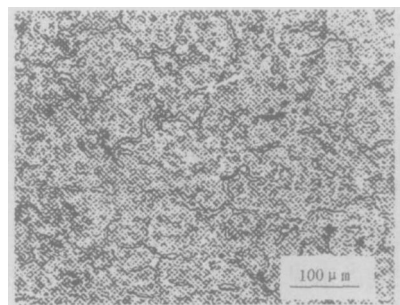
Fig 2 SEM Micrograph of magnesium alloy with or without RE addition

表 2 图 2 中各点的 EDS测定结果

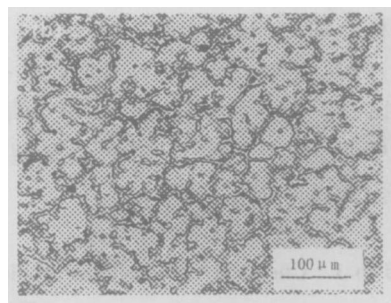
Tab 2 Chemical composition of different positions by EDS in Fig 2 %(原子分数)

位置	Mg	Al	Zn	RE	相
A	96.80	1.71	1.49	-	基体
B	46.04	22.28	31.67	-	$Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$
C	92.36	4.65	2.99	-	共晶 (Mg)
D	52.00	20.39	27.60	-	$Al_2Mg_5Zn_2$
E	31.52	41.01	17.14	10.33	$Mg_5Al_4Zn_2RE$

图 3 是 A15TB 加入前后 ZA84 镁合金的显微组织照片。由图 3 可以看出,无变质合金的晶粒粗大(约 $120 \sim 130 \mu m$),位于晶界上的三元相 $[Mg_{32}(Al, Zn)_{49}]$ 相[图 3(a)中 A]、 $(Al_2Mg_5Zn_2)$ 相[图 3(a)中 B]呈网状或半网状分布。加入 0.25% A15TB 后,合金的晶粒尺寸明显比无变质合金的晶粒尺寸要小(约为 $50 \sim 65 \mu m$),虽然大部分三元相仍呈半连续的网状分布,但已有一部分三元相由原来的半连续网状变为断续状分布。



(a) 无变质合金



(b) 0.25% A15TB

图 3 A15TB加入前后合金的显微组织

Fig 3 Microstructure of magnesium alloy with or without A15TB addition

4 分析与讨论

4.1 合金元素的影响

位错是金属材料中最常见的一种阻尼源,位错在外加循环载荷的作用下发生往复运动而消耗能量^[6]。根据 K-G-L 模型可知,可动位错密度和有效位错的长度显著影响材料的阻尼性能。由于合金元素溶入基体金属后会使得基体的晶格发生畸变,畸变所产生的应力场与位错周围的弹性应力场交互作用,位错运动时就需要更大的切应力。另外,由于合金元素的钉扎作用会使位错线弯曲,这就使合金中的可动位错密度和有效位错长度减小,从而降低合金的阻尼性能。表 3 所列的是加入 RE 及 A15TB 前后 ZA84 镁合金基体中的 Al, Zn 原子分数。

表 3 不同合金基体的能谱成分分析结果

Tab 3 EDS results of matrices of different alloys

合金编号	Mg	Al	Zn
1#	96.80	1.71	1.49
2#	93.79	2.43	3.78
3#	95.58	2.47	1.95

由表 3 可以看出, RE 及 Al5TB 加入后, 基体中的 Al、Zn 原子分数增加。由于大量存在的 Al、Zn 原子限制了位错的运动, 合金中的有效位错长度和可动位错密度降低。因此, 添加 RE、Al5TB 合金的位错阻尼要低于无变质合金的位错阻尼。

4.2 晶界、相界的影响

合金在交变应力下, 晶界和相界的黏性滑动可以将循环剪切应力的机械能转换为热能从而引起内耗^[7]。晶界的能量散失取决于剪切应力的大小和单位体积内的晶界面积。组织的细化、界面面积的增加均可提高合金的阻尼^[8]。表 4 为加入 RE、Al5TB 前后 ZA84 镁合金的晶粒尺寸范围。

表 4 变质前后 ZA84 合金的晶粒尺寸范围

Tab 4 Grain size range of alloys with different additions

变质剂加入量	晶粒尺寸 / μm
无变质	120 ~ 130
1.5% RE	40 ~ 50
0.25% Al5TB	50 ~ 65

由表 4 可以看出, 加入变质剂后, 合金的晶粒尺寸明显减小, 因此, 合金中的界面阻尼将显著增加。但是, 由于合金中的界面阻尼与位错阻尼是同时起作用的, 虽然加入 RE 细化了合金组织, 增加了合金中的界面阻尼, 但是在宏观上, 合金中的界面阻尼的增加小于位错阻尼的降低, 因此在室温时加入 RE 后, 合金的阻尼性能反而降低了。另外, 通过 EDS 分析可知, 由于 RE 的加入, 在 ZA84 镁合金中生成了一种新的四元相 [图 2(b)中的 E], 这种四元相弥散分布于晶界上, 对晶界起到了一定的钉扎作用, 限制了晶界的滑动, 这对合金的界面阻尼也是不利的。而加入 Al5TB 对合金位错阻尼的降低则较小, 并且没有对界面阻尼不利的新相出现, 因此, 由于组织细化所造成的界面阻尼的增加效果就显得十分明显, 从而使其在室温下的阻尼性能明显高于无变质合金。

4.3 温度的影响

随着测试温度的逐渐升高, 三种合金中均出现了一个温度内耗峰, 这是因为随着温度的不断升高, 合金中熔点比较低的 ($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_2$ 熔点 393) 相出现了软化现象, 由于此相的软化, 使合金中的可动相界显著增加, 因此合金中均出现了一个温度内耗峰。无变质合金及 Al5TB 变质合金的内耗峰出现

在 100 左右, 而加入 RE 合金则出现在 120 左右。这种延迟出现内耗峰的现象是因为溶质原子对位错的钉扎作用以及四元新相对界面运动的阻碍作用“中和”了相软化所造成的界面效应。特别是, 当温度大于 250 后, 镁基体由原来的一个滑移面增加为三个滑移面, 使合金中的界面阻尼大大增加, 因此合金的阻尼性能在 250 以后显著增加。

5 结论

(1) RE 的加入降低了 ZA84 镁合金室温下的阻尼性能, 但显著提高了合金在高温下 (80) 的阻尼性能。Al5TB 则同时提高了合金在室温及高温下的阻尼性能。

(2) 由于合金中的相在高温下出现了软化现象, 因此在合金中存在一个温度内耗峰。RE 的加入推迟了合金中内耗峰的出现温度。

(3) 由于 RE、Al5TB 的加入促进了 Al、Zn 原子向基体中的扩散, 钉扎了位错, 降低了合金的位错阻尼。但 RE、Al5TB 的加入细化了晶粒, 增大了合金的界面阻尼。位错阻尼与界面阻尼的综合作用效果决定了合金的宏观阻尼行为。

参考文献

- 1 孙庆鸿, 张启军, 姚慧珠. 振动与噪声的阻尼控制. 北京: 机械工业出版社, 1992: 1 ~ 60
- 2 张忠明, 刘宏昭, 王锦程. 材料阻尼及阻尼材料的研究进展. 功能材料, 2001; 32(3): 227
- 3 王迎新, 关绍康, 王建强. RE 对 Mg-8Zn-4Al-0.3Mn 合金显微组织的影响. 中国有色金属学报, 2003; 13(3): 616
- 4 王迎新, 杨明珊, 李立明. Al5TB 对 Mg-8Zn-4Al-0.3Mn 合金显微组织的影响. 机械工程材料, 2003; 27(9): 36
- 5 Avedisian M M, Baker H. Magnesium and magnesium alloys ASM Specialty Handbook Materials Park, OH: ASM International, 1999
- 6 马春江, 张获, 覃继宁. Mg-Li-Al 合金阻尼性能的研究. 中国有色金属学报, 2001; 10(1): 12
- 7 Zhang J, Perez R J, Lavemia E J. Effect of SiC and graphite particulates on the damping behavior of metal matrix composites Acta Metall Mater, 1994; 42: 395
- 8 赵玉珍, 高庆, 戴振羽. ZA27 高阻尼合金的阻尼特性及微观机理的研究. 西南交通大学学报, 2001; 36(6): 593

(编辑 任涛)