

高阻尼铝合金层压板的内耗^①

罗兵辉 周善初

(中南工业大学材料系, 长沙 410083)

张迎元

(中船总公司七院第七二五研究所, 洛阳 471039)

朱劲松

(南京大学物理系, 南京 210093)

摘 要 高阻尼铝合金层压板为五层铝合金的复合结构, 中心为中等强度的 4 号防锈铝 LF₄(5083), 两边对称地包覆高阻尼的 Zr22%Al (质量分数) 共析合金, 最外层包覆铝 LB₁(7072) 作为保护层。通过测试层压板及其组成各单层在应变振幅 $A_\varepsilon = 5 \times 10^{-5}$ 下内耗随温度和频率的变化, 得出层压板各层界面对内耗有一定贡献。在低温低应变振幅下, 经淬火后的层压板内耗比淬火后在 250℃进行断面加工率为 60% 变形后的层压板内耗高。从 TEM 照片分析, 淬火后在 250℃变形的层压板中锌铝合金的晶粒内含有大量位错, 同时晶粒粗化, 表明 Zr22%Al 共析合金的高阻尼主要是由其晶粒界面粘滞滑动引起的, 位错引起的弛豫作用小。

关键词 层压板 内耗 频率 温度

高阻尼铝合金层压板具有高阻尼、中等强度、塑性好且耐海洋大气腐蚀、可焊接等优良的综合性能^[1,2]。其高阻尼主要是锌铝共析合金的作用, 对于该合金的阻尼机制已有不少文献作了报道^[3,4], 即认为是锌铝共析合金中硬的 α 相 (富 Al 相) 与软的 β 相 (富 Zn 相) 在界面粘的滞运动吸附振动能。但这些文献多是根据该合金在不同应变振幅及频率下的内耗—温度关系提出模型、解释实验结果, 而未与合金组织结合起来进行分析, 特别是未对锌铝合金超塑性变形后内耗特征与组织结合起来进行分析。

据此, 本文用多功能内耗仪及 TEM 等对经不同加工热处理的层压板及其中的 Zr22%Al 共析合金进行组织与实验分析, 进一步揭示了层压板及其中锌铝共析合金的内耗机制。

1 实验方法

层压板结构如图 1, 中心层 LF₄ 占总板厚

58%, 锌铝共析合金占 34%, 外保护层占 8%。五层复合板通过 350~380℃保温 1 h 后热复合 $\varepsilon\% = 80\%$ → 层压板在 350℃保温 1h, 18℃水淬 → 250℃(1h) 轧制 (变形量为 60%) 工艺制得, 试样简称为 A。同时按此相同工艺制得各单层材料, 即包覆层的 LB₁(7072), 试样简称为 LB₁; 锌铝共析合金试样简称为 ZA; 中心层铝镁合金 LF₄(5083), 试样简称为 LF₄。

再将 A 试样在 350℃保温 1h, 在 18℃水中淬火, 制得试样简称为 B。各试样规格为 80 mm × 3 mm × 1 mm, 在多功能内耗仪上测试应变振幅为 $A_\varepsilon = 5 \times 10^{-5}$ 下内耗 Q^{-1} 随温度 T 的变化曲线, 将 A、B 试样中锌铝共析合金作透射电镜分析。

2 实验结果及分析

2.1 层压板的内耗及层压板中各层间界面对内耗的影响

层压板 A 在不同频率下按同一工艺条件

① 国家“八·五”攻关项目 收稿日期: 1996-02-02; 修回日期: 1996-05-21 罗兵辉, 男, 31 岁, 讲师, 硕士

制得的各单层试样 LB₁、LF₄、ZA 在频率为 1Hz 下内耗随温度变化的曲线分别如图 2(a)、(b)、(c)、(d)。可见频率为 1Hz 下 LB₁、LF₄ 的内耗低且大小相当; 锌铝合金 ZA 内耗高, 比 LF₄、LB₁ 平均高 10 倍以上; 层压板 A 位于其间。层压板的高内耗主要是锌铝共析合金层引起的。温度为 25℃时, 层压板 A 及各单层在 1Hz、A_ε= 5 × 10⁻⁵条件下的内耗如附表, 其中五单层内耗总和 $Q^{-1} = Q_{LB_1}^{-1} \cdot 8\% + Q_{2A}^{-1} \cdot 34\% + Q_{LF_4}^{-1} \cdot 58\%$ 。

附表 层压板 A 及其构成单层在 25℃, 1 Hz 下的内耗

试样	A	LB ₁	LF ₄	ZA	五单层 内耗的总和
Q^{-1}	0.01973	0.00496	0.00483	0.03780	0.01605

从表 1 可知, 层压板 A 的内耗 ($Q^{-1} = 0.01973$) 大于其构成各单层内耗之和 ($Q^{-1} = 0.01605$), 表明层压板中各层间界面对其内耗有一定贡献, 虽其作用较小。

2.2 不同热处理工艺对层压板内耗的影响

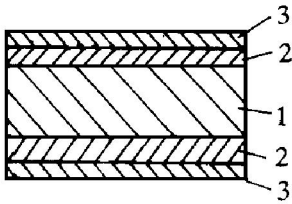


图 1 层压板结构

- 1—中心增强层 LF₄;
- 2—锌铝共析合金;
- 3—外包保护层 LB₁

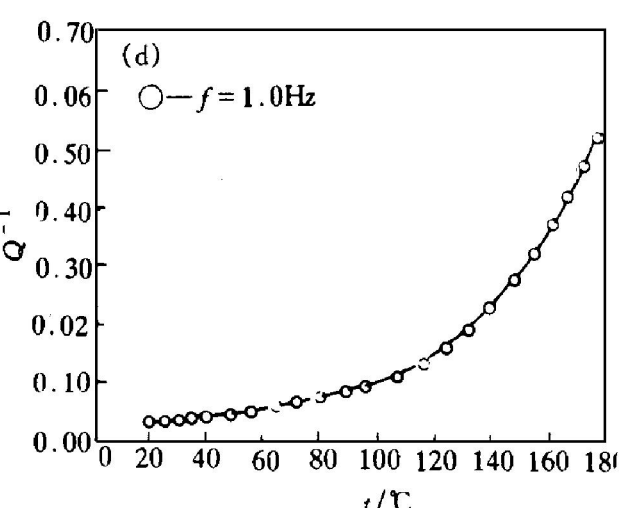
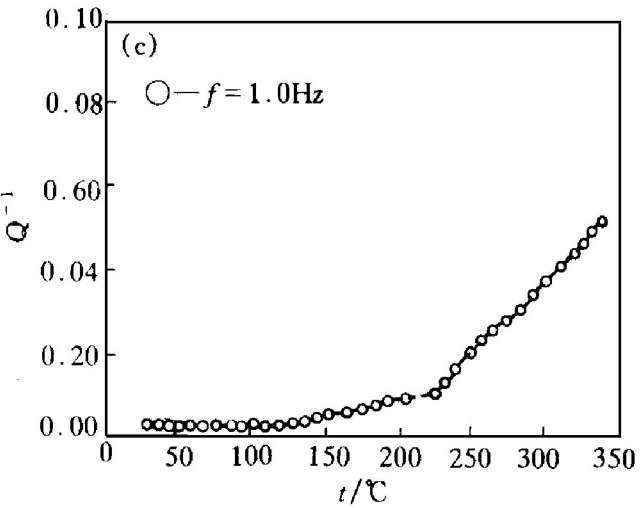
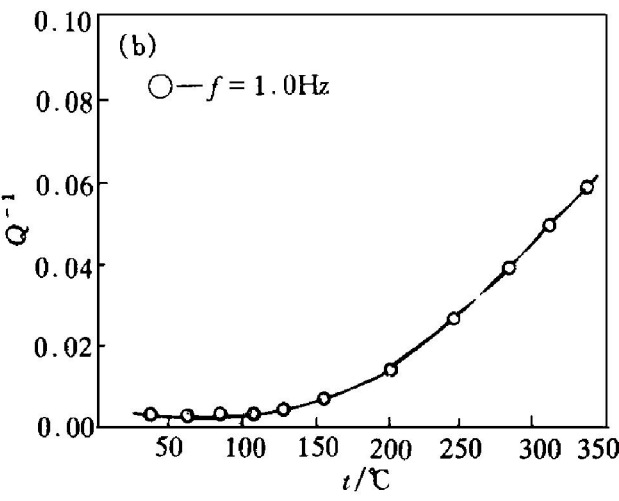
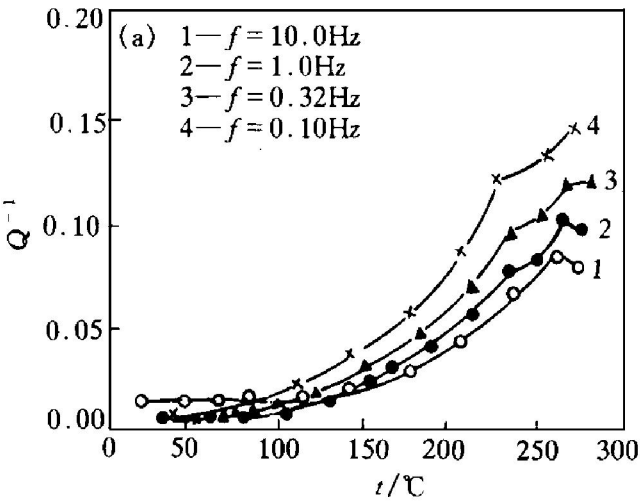


图 2 内耗随温度的变化曲线

- (a) —A 在不同频率下的内耗温度曲线; (b) —LB₁ 在 1Hz 下的内耗温度曲线;
- (c) —LF₁₄ 在 1Hz 下的内耗温度曲线; (d) —ZA 在 1Hz 下的内耗温度曲线

层压板 A、B 在 1 Hz、 $A_\varepsilon = 5 \times 10^{-5}$ 下内耗随温度变化的曲线如图 3。可见温度高于 150 °C 后, Q^{-1} 趋于一致, 均在 ~ 270 °C 出现内耗峰, 该峰是 Zr-22% Al 共析合金的相变引起的, 即发生 $\alpha + \beta \rightarrow \gamma$ 。温度低于 150 °C, 试样 B 的内耗比 A 的高 0.01 左右, 这是因经不同处理的层压板 A、B 中锌铝合金组织结构变化引起的。

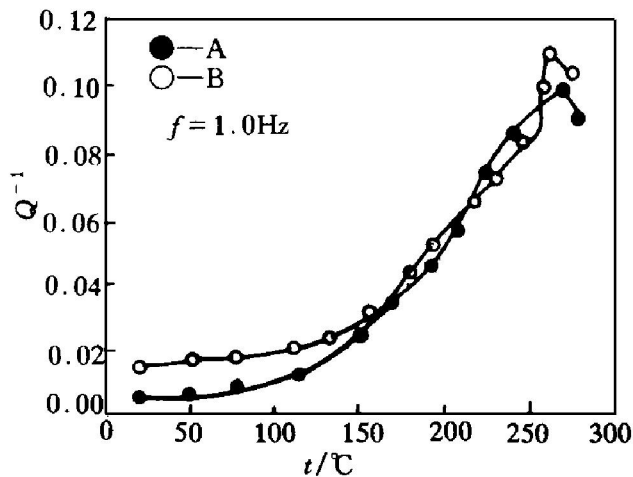


图 3 层压板 A、B 内耗-温度变化曲线

图 4、5 为层压板 A、B 中锌铝合金的组织, 可见, 经 250 °C 超塑变形后, 锌铝合金组织仍为 $\alpha + \beta$ 粒状组织 (图 4), 与淬火后的锌铝合金组织 (图 5) 比较存在两点不同: 1) 组织粗化; 2) 晶粒中含有大量位错, 并相消于晶界。在低温低频低应变振幅范围, 位错对内耗有较大贡献^[5]。图 6 表示锌铝共析合金 350 °C 保温 1 h 后在 18 °C 及炉冷两种情况下, 内耗随断面加工率的变化。可见, 随加工率加大, 位错密

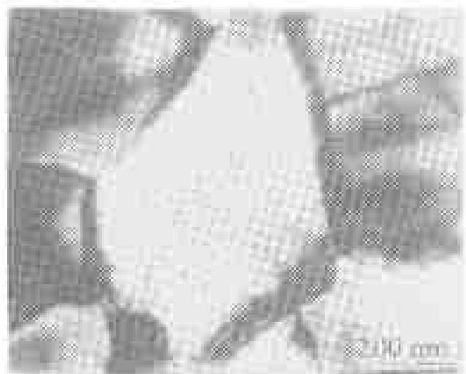


图 4 A 试样中 Zr-22% Al 合金组织

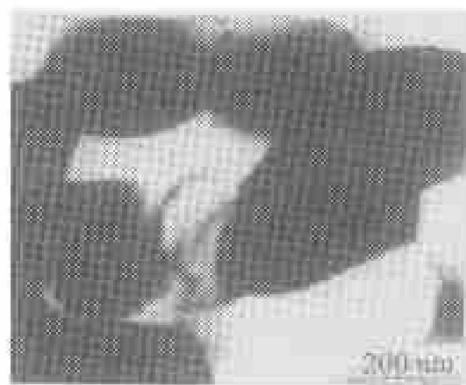


图 5 B 试样中 Zr-22% Al 合金组织

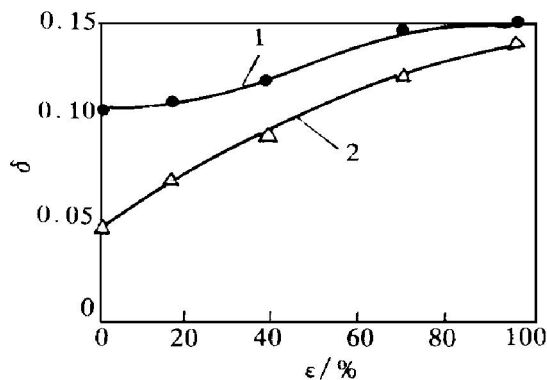


图 6 不同热处理后冷变形程度对 Zr-22% Al 合金对数衰减率的影响

1—为水淬后试样; 2—为炉冷后试样

度增加, 内耗升高。所以 A 试样中大量位错必定会加大其内耗, 但低温低频下其内耗低于晶粒较小且位错密度很小的 B 试样。由此可以认为 Zr-22% Al 共析合金经 250 °C 超塑变形后, 位错引起的内耗增加小于晶粒粗化引起的内耗减小, 即该合金超塑变形后, 仍以晶粒边界的粘滞运动为主要的内耗机制。

3 结论

(1) 层压板具有高阻尼。内耗主要是 Zr-22% Al 共析合金提供的, 但各层界面对层压板内耗有一定的影响。

(2) 层压板在 260~ 280 °C 温度范围内有一内耗峰, 它是锌铝共析合金的相变峰。

(3) 淬火后层压板经 250 °C、断面加工率为 60% 的变形后, 在锌铝共析合金晶粒内引入

大量位错, 但晶粒粗化。锌铝合金变形后其内耗仍主要来源于晶界的粘滞滑动, 位错弛豫作用较小, 所以内耗值较淬火后的状态为小。

参考文献

- 1 Luo B H, Zhou S C. Transactions of NFsoc, 1994, 4(3): 102–105.
- 2 罗兵辉等. 中南工业大学学报, 1995, 26(2): 213–217.
- 3 Zhu X F. J Appl Phys, 1990, 67(12): 7287–7291.
- 4 Torisaka Y *et al.* Acta Metall Mater, 1991, 39(5): 947–954.
- 5 冯端等编著. 金属物理. 北京: 科学出版社, 1975.

INTERNAL FRICTION STUDY OF ALUMINIUM ALLOY LAMINATES WITH HIGH DAMPING

Luo Binghui, Zhou Shanchu

*Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083*

Zhang Yingyuan

China Ship Industry General Corporation, Luoyang 471039

Zhu Jingsong

Department of Physics, University of Nanjing, Nanjing 210093

ABSTRACT A laminate consisting of five layers was fabricated; its central layer was 5083 (LF₄) with high strength, and Zr-22%Al eutectoid alloy with high damping was coated symmetrically on both sides of the central layer and protection material was 7072 (LB₁). By measuring the internal friction of the laminates and single materials under changeable temperature and frequency, it showed that the interfaces between the different layers may make a contribution to the internal friction. In low temperature and low strain amplitude, the internal friction of the laminates that have been rapidly cooled from 350 °C is higher than that of the laminates with a reduction of area by 60% in 250 °C after rapidly cooled from 350 °C. From TEM picture, there are quantities of dislocations and the fine equiaxed grains of α and β phases become coarse in Zr-22%Al alloy of the deformed laminates, showing that high damping of Zr-22%Al eutectoid alloy is chiefly due to the relaxation process of the interfaces, while that of the dislocations makes less contribution.

Key words laminate internal friction frequency temperature

(编辑 朱忠国)