

微量锆对 Zr-22% Al 合金阻尼稳定性的影响^①

庞绍平 全梅花

(吉林电气化高等专科学校, 吉林 132021)

摘 要 采用自然时效、人工时效等热处理工艺研究了微量锆对 Zr-22% Al 合金阻尼性能(内耗)的影响。结果表明,微量锆可提高 Zr-22% Al 合金的阻尼稳定性。运用电子显微镜和 X 射线衍射仪对未加锆和加锆的试样进行观察和分析,明确了锆减缓 Zr-22% Al 合金时效后阻尼性能(内耗)降低的原因。

关键词 Zr-22% Al 合金 锆 时效 阻尼性能

减振(高阻尼)合金可通过材料内部的各种阻尼机制吸收外界振动能,并将其转化成热能而耗散,应用于生产机电产品的零部件能达到减振降噪的功效,属于功能性结构材料^[1, 2]。

在已开发的减振合金中,Zr-22% Al 合金与其他种类的减振合金相比,具有阻尼性能高、工艺性能优良、材料成本低、非磁性等优点,适合于广泛应用^[3, 4]。但据文献[5, 6]报导,淬火后冷轧的 Zr-22% Al 合金自然时效时,阻尼性能随时间的延长而降低。本研究从 Zr-22% Al 合金高阻尼性的微观机理出发,加入微量锆元素,明显减缓了 Zr-22% Al 合金时效后阻尼性能的降低,探索了提高 Zr-22% Al 合金阻尼稳定性的途径。

1 试验材料及方法

1.1 材料及试样制备

原材料采用 1[#] 纯锌锭, L02 纯铝锭, 锆以 Al-2.25% Zr 中间合金加入,所配合合金的化学成分列于附表中。

合金在井式电阻炉石墨坩埚中熔炼,在水冷钢模中浇注,铸锭经 350℃, 14 h 均匀化→刨面→清洗→350℃热轧→350℃, 3 h, 水淬→80℃温轧→剪切等过程,制成尺寸为 70 mm × 2 mm × 1 mm 的试样。

附表 试验用合金的化学成分(%)

合金号	Al	Zr		Zn
		配料	分析	
0 [#]	22	—	—	余量
1 [#]	22	0.05	0.08	余量
2 [#]	22	0.25	0.18	余量
3 [#]	22	0.40	0.32	余量

1.2 试验方法

1.2.1 时效试验

将各号合金试样分成三组,分别用于自然时效、50℃时效和 150℃时效,人工时效在对应温度的箱式电阻炉中进行,每隔一段时间,就从各号试样组中取出三个试样,用于测定阻尼性能。

1.2.2 阻尼性能的测算

室温阻尼性能(内耗)可由下式计算^[7]:

$$Q^{-1} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} \quad (1)$$

式中 A_n 、 A_{n+1} 分别为自由衰减曲线中第 n 、 $n+1$ 个周期的振幅,它们的测量在室温低频扭摆内耗仪上进行。

1.2.3 显微组织观察和相分析

在 H800 透射电子显微镜上进行显微组织观察,试样采用 1 mm 厚的薄片经机械减薄后厚度小于 0.1 mm,然后再经过双喷电解穿孔制得,电解液为 10% HClO₄ + 90% C₂H₅OH 溶

① 收稿日期: 1996-04-16; 修回日期: 1996-07-31 庞绍平,男,34岁,讲师,硕士

液, 工作电压为 20 V, 电流为 20~25 mA, 液氮保护, 工作温度低于 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。利用 D500 X 射线衍射仪分析合金中的相组成, $\text{CuK}\alpha$ 为辐射源, 步进扫描, 步长为 0.040° , 计数时间为 2 s。

2 试验结果

2.1 时效的内耗-时间关系曲线

图 1 所示为 0[#]、2[#] 合金试样经 50 $^{\circ}\text{C}$ 时效的内耗-时间关系曲线。从中可见, 80 $^{\circ}\text{C}$ 温轧态的 Zr-22% Al 合金经 50 $^{\circ}\text{C}$ 时效的内耗值保持不变, 其中添加锆的 2[#] 合金的内耗值要比未加锆的 0[#] 合金的高。

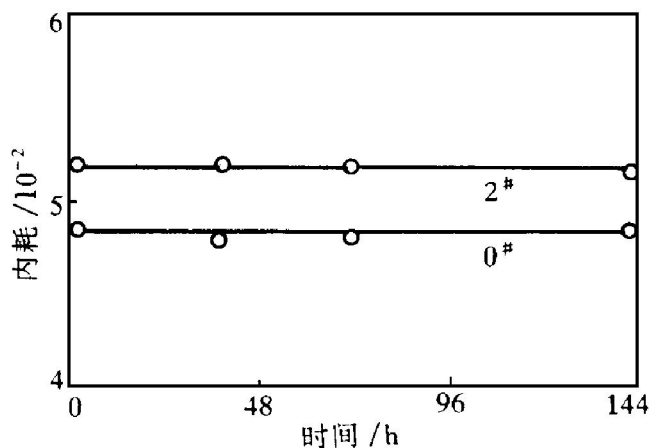


图 1 0[#]、2[#] 合金经 50 $^{\circ}\text{C}$ 时效的内耗-时间关系

图 2 为 0[#] ~ 3[#] 合金试样经 150 $^{\circ}\text{C}$ 时效的内耗-时间关系曲线。从中看出, 所有合金试样经高于温轧温度 (80 $^{\circ}\text{C}$) 时效后的内耗值随着时效时间的增长而降低, 但各合金内耗值的降低程度不相同, 1[#]、2[#]、3[#] 合金试样的时效曲线要比 0[#] 的平缓, 这表明向 Zr-22% Al 合金中添加锆元素能提高其阻尼稳定性, 但锆对阻尼稳定性的提高并非单纯地随锆含量的增加而增高, 如含 0.32% Zr 的 3[#] 合金的阻尼稳定性就比含 0.18% Zr 的 2[#] 合金的低。

2.2 显微组织

图 3 为 0[#]、3[#] 合金试样经 150 $^{\circ}\text{C}$, 24 h 时效后的微观组织, 从中可见, 未加锆的 0[#] 合金试样中的晶粒较加锆的 3[#] 合金粗大, 而且等

轴程度也较低, 经 X 射线衍射分析发现, 3[#] 合金中除 α 、 β 相外, 还存在第三相 AlZr [8]。

2.3 位错组态

由图 4 可见, 0[#] 合金试样经 150 $^{\circ}\text{C}$, 24 h 时效后, 晶粒中的位错线弯曲, 互相缠绕在一起形成杂乱的位错线网络, 而自然时效的位错线则相对平直。加入微量锆的 3[#] 合金试样中, 由于锆原子对位错的钉扎作用, 位错的运动受到阻碍, 位错的缠结不明显 (如图 5 所示), 网络较 0[#] 合金的松散得多。

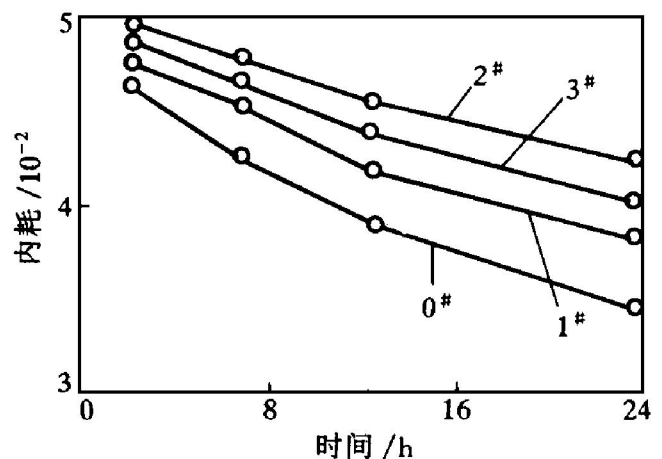


图 2 0[#] ~ 3[#] 合金经 150 $^{\circ}\text{C}$ 时效的内耗-时间关系

3 讨论

Zr-22% Al 合金属于复相型减振合金, 其阻尼机制是: 受振时第二相与基体界面发生非弹性粘滞运动和第二相微变形吸收振动能而产生高阻尼 [5, 9]。此外, 本研究的合金试样中还存在大量位错, 位错与内耗有着密切的关系。

80 $^{\circ}\text{C}$ 温轧的 Zr-22% Al 合金经 150 $^{\circ}\text{C}$ 时效后, 由于晶粒长大和等轴度的降低, 使得发生非弹性粘滞运动的总界面面积降低以及运动困难, 因而内耗值降低。锆元素的加入, 细化了晶粒并且妨碍时效过程中晶粒的长大, 有利于界面的非弹性粘滞运动。因此, 添加微量锆元素的 Zr-22% Al 合金的内耗值比未加锆元素的 Zr-22% Al 合金的内耗值高, 而且稳定。

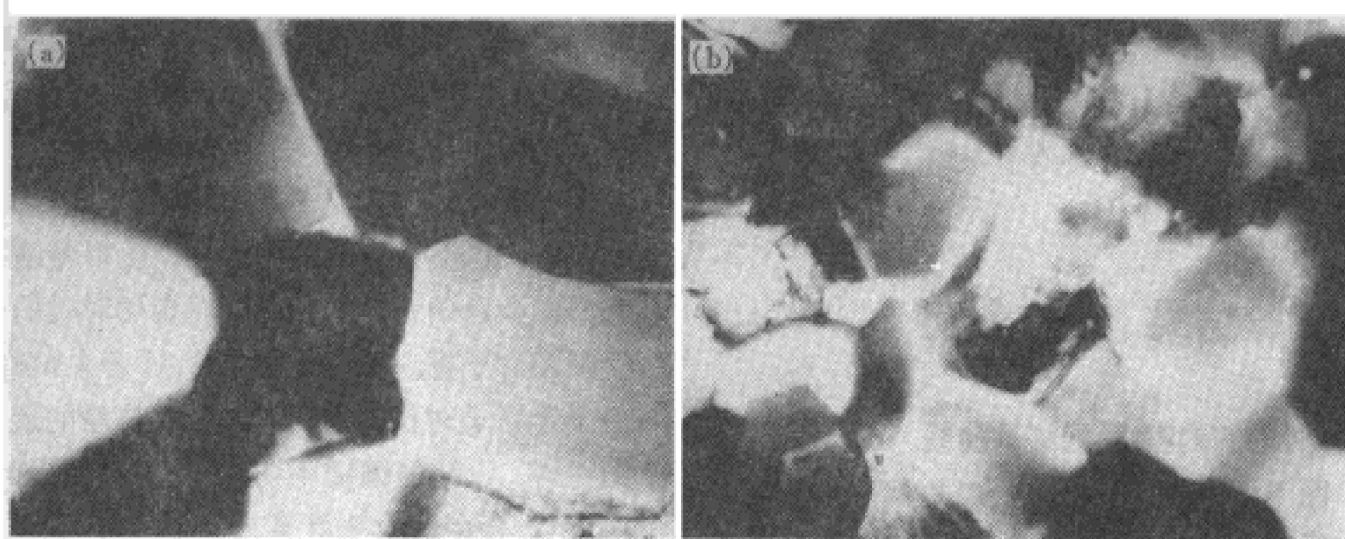


图3 合金经 150 °C 时效 24h 的微观组织

(a) —0[#], × 30 000; (b) —3[#] 合金, × 30 000

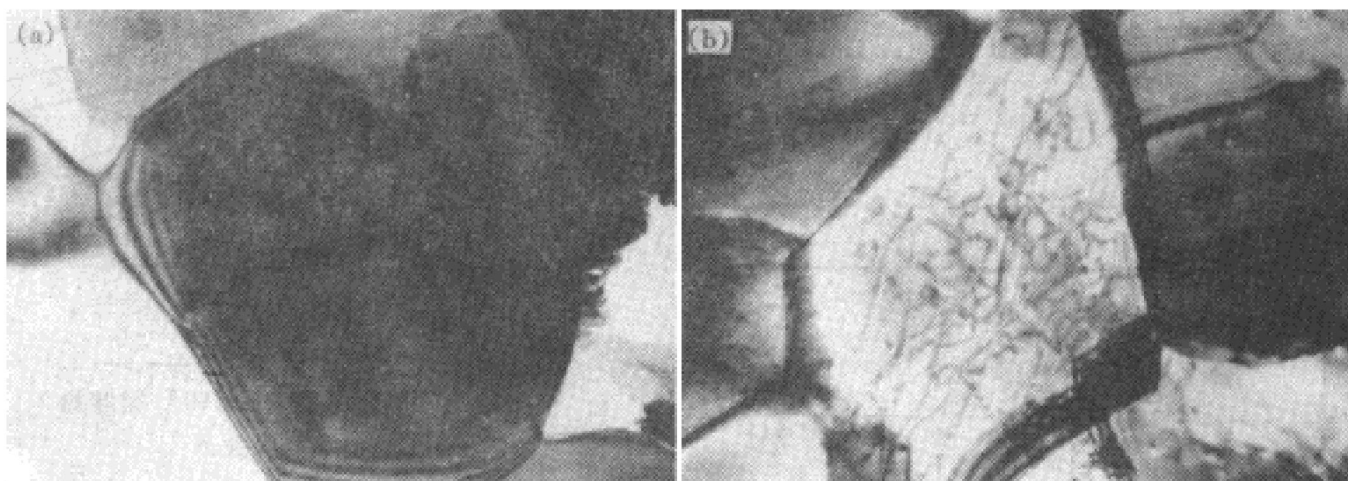


图4 0[#] 合金中的位错组态

(a) —自然时效态, × 80 000; (b) —150 °C, 24h 时效, × 80 000

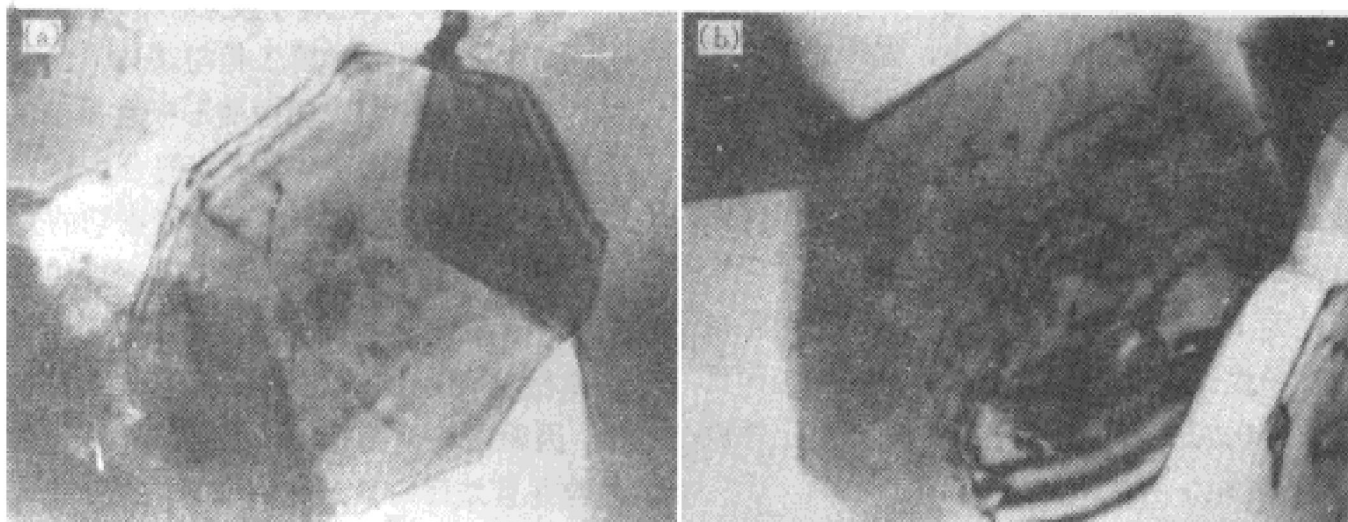


图5 3[#] 合金中的位错组态

(a) —自然时效态, × 80 000; (b) —150 °C, 24h 时效, × 80 000

扭摆法测内耗时, 试样中切应变的最大振幅约为 10^{-5} 数量级, 且振动频率低 ($0.5 \sim 2\text{Hz}$)^[7], 根据 G-L 理论^[10], 由位错振动引发的内耗为:

$$\Delta_I = \frac{120 \omega \Omega B}{\pi^3 C} \Lambda L^4 \quad (2)$$

式中 ω 为角频率; Ω 为应力取向因子; C 为位错线张力; Λ 是位错密度; L 是位错线段的平均长度, 其值由下式所决定:

$$1/L = 1/L_N + 1/L_C \quad (3)$$

式中 L_N 为位错网络节点间距; L_C 为钉扎位错的杂质原子的平均间距。比较图 4(b) 和图 5(b), 由于试样制备、热处理工艺、内耗测试等条件相同, 因此, 用于计算图 4(b) 和图 5(b) 状态所对应的 Δ_I 值的 ω 、 Ω 、 B 、 C 、 Λ 的数值不变, Δ_I 值只与 L^4 有关。图 4(b) 中的位错线经 150°C 、24h 时效后互相缠结在一起, 位错网络长度 L_N 变得很小, 虽然图 5(b) 中的 L_C 比图 4(b) 中的小, 但它在时效前后几乎一样, 由公式 (2)、(3) 可定性地看出添加锆元素的 Zr-22% Al 合金的位错内耗比未加锆元素的 Zr-22% Al 合金的稳定, 图 2 中的试验结果证实了这一点。

至于含锆元素较多的 3[#] 合金的内耗值比 2[#] 合金的低, 则是由于 3[#] 合金中有新相 AlZr 析出, 析出相如果分布在晶界上, 会阻碍晶界的非弹性粘滞运动; 如果分布在晶粒内, 会产生对位错的强钉扎作用, 使内耗降低。

4 结论

(1) 经水淬后 80°C 温轧的 Zr-22% Al 合金在室温下自然时效时, 其阻尼性能保持不变。

(2) 微量锆元素的加入, 提高了经水淬后 80°C 温轧的 Zr-22% Al 合金的阻尼性能, 其中含 0.18% Zr 的合金的阻尼性能最高。

(3) 添加微量锆元素可提高经水淬后 80°C 温轧的 Zr-22% Al 合金在 150°C 时效的阻尼稳定性。

参考文献

- 1 栗原孝雄. 特殊钢, 1983, 32(1): 60-65.
- 2 佐佐木雄贞. 日本金属学会学报, 1979, 18(3): 212-213.
- 3 顾敏, 高光慧. 上海金属, 1990, 11(5): 13-19.
- 4 增本量等. 日本金属学会志, 1982, 46(9): 929-934.
- 5 增本量等. 日本金属学会秋期大会一般讲演概要, 1980, 10: 229.
- 6 邱同济等. 有色金属与稀土应用, 1981, 4: 1-8.
- 7 宋学孟. 金属物理性能分析. 北京: 机械工业出版社, 1981: 106-113.
- 8 庞绍平. 硕士论文, 中南工业大学, 1992: 37-39.
- 9 Nuttall K. Journal of the Institute of Metals, 1971, 99: 266-270.
- 10 Granato A, Lücke K. Journal of Applied Physics, 1956, 27(6): 583.

EFFECT OF TRACE Zr ON STABILITY OF DAMPING CAPACITY OF Zr-22% Al ALLOY

Pang Shaoping, Quan Meihua

Jilin College of Electrification, Jilin 132021

ABSTRACT The effect of trace Zr on the damping capacity of Zr-22% Al alloy was studied by using natural ageing and artificial ageing. The results showed that trace Zr can improve the stability of damping capacity of the alloy. TEM observations and X-ray diffraction analyses for samples with or without Zr revealed the reasons of Zr slowing the reduction of damping capacity of Zr-22% Al after ageing.

Key words Zr-22% Al alloy Zr ageing damping capacity

(编辑 彭超群)