

锆对高阻尼 Zr-22% Al 合金显微组织 和力学性能的影响^①

庞绍平 全梅花 石云宝 刘晓刚
(吉林电气化高等专科学校, 吉林 132021)

摘 要 通过测试自然时效和人工时效的强度- 时间关系曲线, 以及采用金相显微镜、透射电镜和扫描电镜观察, 探讨了微量锆对经 80 ℃轧制的 Zr-22% Al 合金显微组织和力学性能的影响。结果表明, 在低于 80 ℃的温轧温度下时效时, 加 0. 08% ~ 0. 32% Zr 和不加 Zr 的 Zr-22% Al 合金的强度保持不变。锆具有细化 Zr-22% Al 合金的组织并阻碍时效时晶粒长大和等轴程度降低的作用。锆还可提高 Zr-22% Al 合金的强度和时效时力学性能的稳定性。在三个不同含锆量的 Zr-22% Al 合金中, 含 0. 18% Zr 的合金强度最高, 而且最稳定。

关键词 Zr-22% Al 合金 锆 时效 力学性能

中图法分类号 TG113. 12 TG113. 25

Zr-22% Al 合金属于复相型高阻尼合金^[1], 与其它种类的阻尼合金相比, 具有减振能力强、工艺性能优良、材料成本低、非磁性等优点^[2, 3], 可直接用来生产强度要求不高的减振器件, 也可与强度和耐腐蚀性较高的铝合金轧制成复合材料, 用于生产强度和耐腐蚀性较好、同时又具有较高减振能力的器件。但据文献^[4, 5]报导, 淬火后冷轧的 Zr-22% Al 合金自然时效时, 强度和硬度随时间的推移而升高, 减振能力随时间的推移而降低。为了稳定 Zr-22% Al 合金的组织 and 性能, 本文探讨了锆对其显微组织和力学性能的影响及作用机理。

1 试验材料与方法

1. 1 材料及试样制备

配制合金所用的原材料为 1[#] 纯锌和 L02 纯铝, 锆以 Al-2. 25% Zr 中间合金加入, 合金的化学成分见表 1。

表 1 试验用合金的化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of alloys(mass fraction, %)

Alloy No.	Al	Zr		Zn
		Nominal	Analysed	
0	22	—	—	Balance
1	22	0. 05	0. 08	Balance
2	22	0. 25	0. 18	Balance
3	22	0. 40	0. 32	Balance

合金放入石墨坩埚中, 在井式电阻炉中熔炼, 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, 制成厚度为 1 mm 的片状拉伸试样。

1. 2 试验方法

将各号合金试样分成四组, 分别置于空气和 50, 100, 150 ℃的箱式电阻炉中进行自然时效和人工时效。拉伸试验在 WD- 10A 型电子万能试验机上进行, 拉伸速度为 10 mm/min, 每个状态测量三个试样, 取其平均值。

① 收稿日期: 1996- 11- 12; 修回日期: 1997- 01- 28 庞绍平, 男, 34 岁, 讲师, 硕士

在 POLYVAR-MET 金相显微镜上进行金相组织观察和照相, 利用 H-800 型透射电子显微镜比较了晶粒大小、形状变化, 借助 X-650 型扫描电镜对拉伸断口进行了分析。

2 试验结果与分析

2.1 锆对合金铸造组织的影响

图1所示为不含锆和含锆量不同的 Zr-22% Al 合金的铸造组织, 其中白色部分为富铝的 α 相, 黑色基体为富锌的 β 相。加入微量的锆后, α 相由粗大的树枝状细化为均匀分布的颗粒状, 其中添加 0.18% Zr 的 2[#] 合金中的 α 相最细小, 表明锆细化 Zr-22% Al 合金的铸造组织是有效的。

2.2 锆对时效合金力学性能的影响

图2为合金经 50 °C 时效的强度-时间关系曲线。各号合金的强度值经 50 °C 时效时恒定不变, 不随时间的推移而变化, 但锆的加入提高了 Zr-22% Al 合金的强度, 其中添加 0.18% Zr 的 2[#] 合金强度最高。

图3为合金经 100 °C 时效的强度-时间关系曲线。显而易见, 当时效温度超过制备试样时的轧制温度(80 °C)时, 合金的性能就不稳定了, 强度随时效时间推移而升高, 但各号合金强度的增大程度不同, 未加锆的 0[#] 合金的时效曲线最陡, 强度增加量最大; 加锆合金的曲线都较平缓, 其中尤以 2[#] 合金的时效曲线最平缓, 强度增加量最小。

2.3 锆对时效合金显微组织的影响

0[#] 和 3[#] 合金自然时效态和经 150 °C 时效 24 h 的 TEM 组织示于图4。可以看出, 未加锆

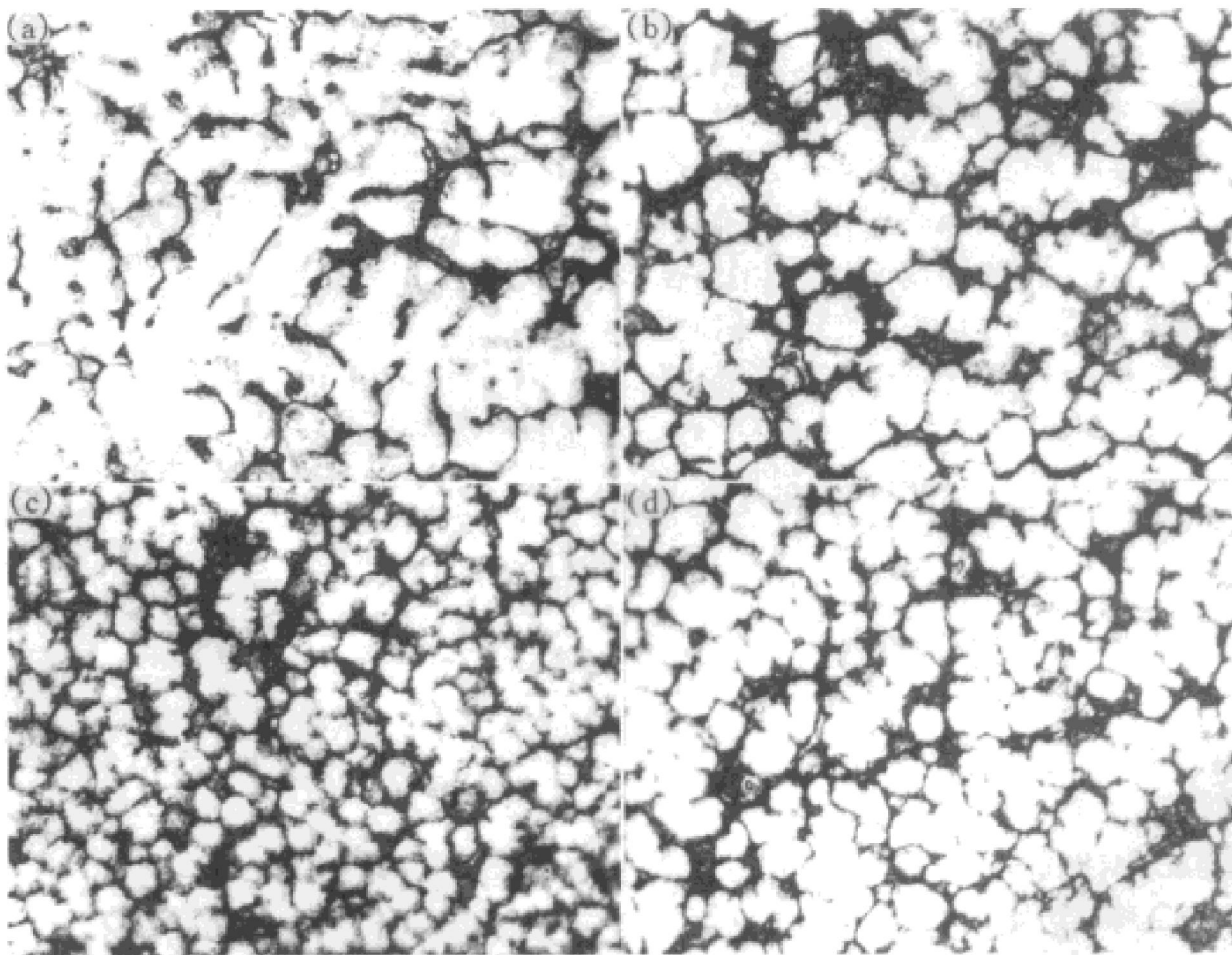


图1 合金的铸态组织(250×)

Fig. 1 As cast microstructures of Zr-Al (Zr) alloys(250×)

(a) —No. 0 alloy; (b) —No. 1 alloy; (c) —No. 2 alloy; (d) —No. 3 alloy

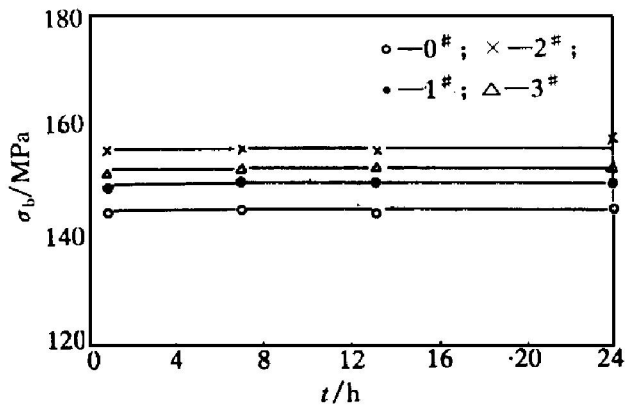


图2 合金经 50 °C 时效的强度-时间曲线

Fig. 2 Dependence of tensile strength (σ_b) of Zr-Al(Zr) alloys on annealing time(t) at 50 °C

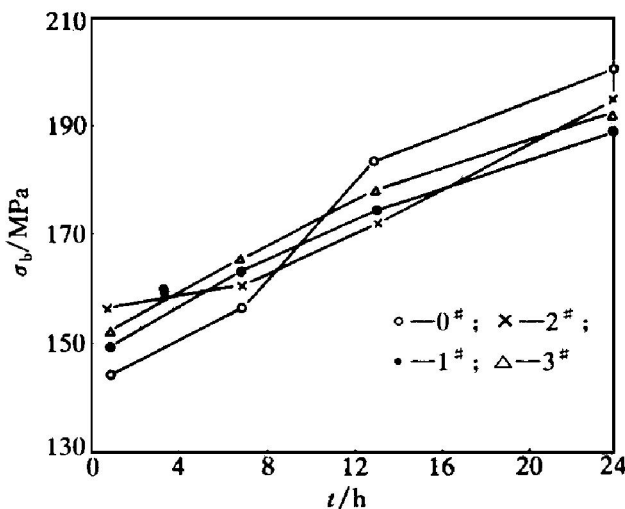


图3 合金经 100 °C 时效的强度-时间曲线

Fig. 3 Dependence of tensile strength (σ_b) of Zr-Al(Zr) alloys on annealing time(t) after annealing at 100 °C

的 0[#] 合金的晶粒大小和形状随时效温度升高发生明显变化, 不仅晶粒粗化明显, 而且等轴程度也有所降低, 而添加锆的 3[#] 合金中主要发生晶粒的略为粗化, 其晶粒的等轴程度并未降低, 这表明了锆有阻碍 Zr-22% Al 合金时效时晶粒长大及等轴程度降低的作用。

2.4 锆对合金断口形貌的影响

从图 5 的拉伸断口形貌看出, 断口上完全为撕裂韧窝, 属于典型的韧性断口, 这与拉伸

时表现出的 100% 以上的高延伸率相对应。3[#] 合金断口上的韧窝比 0[#] 合金的细密, 这是由于 3[#] 合金的晶粒较细小, 使得在断裂时微孔形核的数量较多所致。

3 讨论

Zr-22% Al 合金属于超塑性材料, 关于这种合金塑性变形的微观机制, 邱同济等认为, 由于 Zr-22% Al 合金在塑性变形过程中无晶粒被拉长和加工硬化现象, 导致塑性变形的不是位错滑移, 而是靠晶界滑动来实现, 晶粒愈细、等轴程度愈高, 则晶粒间的接触面积愈小, 使它们之间发生滑动所需的力就愈小。此外, 按照“碎屑润滑机制”, 由于实际材料晶粒形状并非完全是等轴状的, 随着塑性变形的进行, 在一些晶粒棱角比较尖锐而妨碍它们相互滑动的地方, 会在发生晶粒外层的研磨时脱落成为“碎屑”, 这不仅使晶粒的等轴程度得到提高, 而且使晶粒在这些“碎屑”中滑动变得容易进行。显然, 本文中的 0[#], 1[#], 2[#] 和 3[#] Zr-22% Al 合金经 100 °C 时效时, 由于加锆的合金中锆阻碍了晶粒长大和等轴程度的降低, 晶界滑动机制易于进行, 致使经过一段时间时效后, 加锆合金的 σ_b 值比未加锆合金的低。

经 50 °C 时效时, 加锆的 Zr-22% Al 合金的强度始终高于未加锆的合金。而从图 4(a), (c) 可见, 未加锆的合金晶粒比加锆的合金要粗大一些。这主要是由于加入锆后使 α , β 相晶粒产生了固溶强化, “碎屑”的形成比未加锆合金难, 以及产生晶界强化^[6] 使晶界滑动变得困难所致。

4 结论

(1) 在低于 80 °C 的温轧温度下时效时, 加 0.08% ~ 0.32% Zr 和不加锆的 Zr-22% Al 合金的强度保持不变。

(2) 锆具有细化 Zr-22% Al 合金的组织并

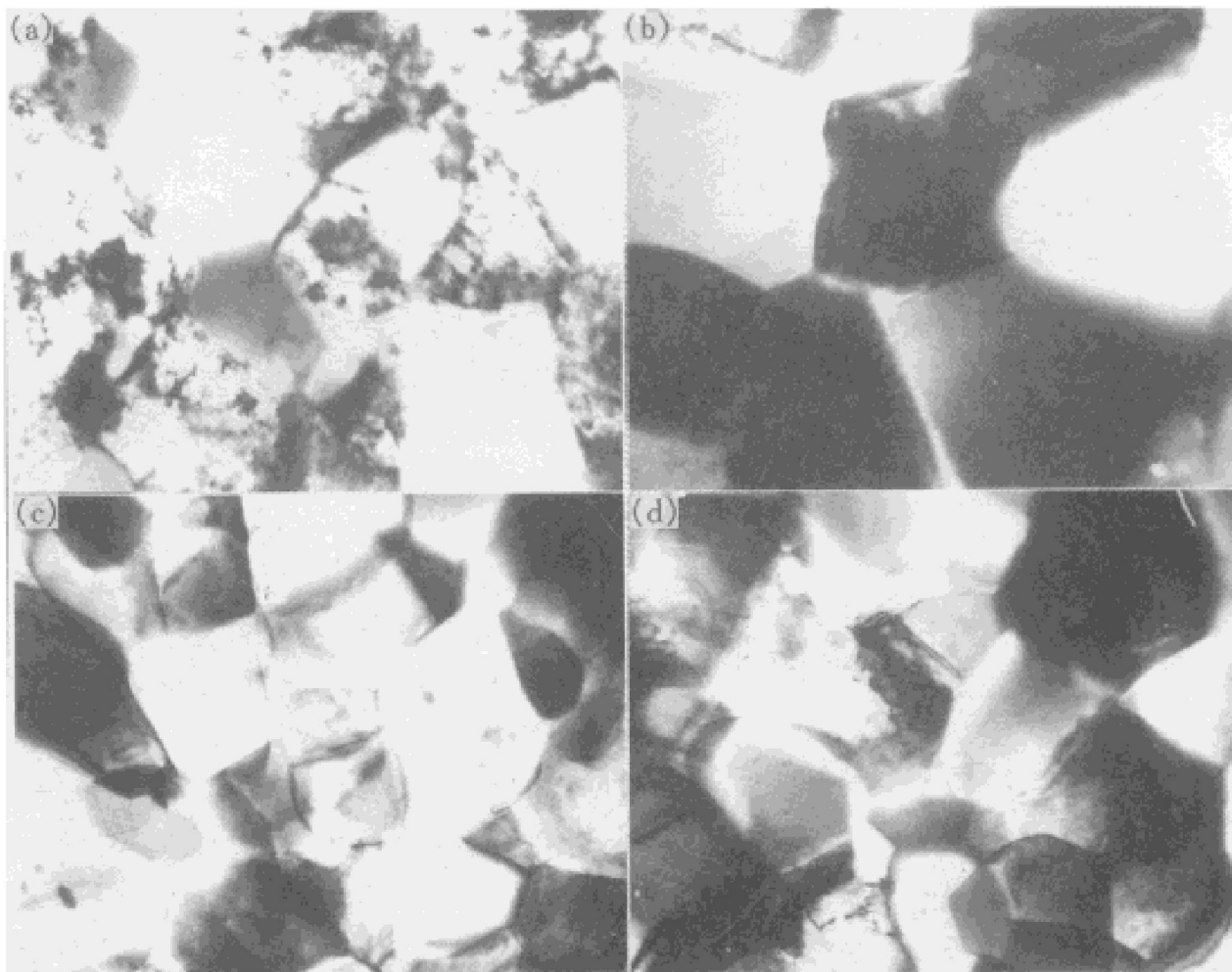


图 4 Zr-Al(Zr) 合金的 TEM 组织(30 000 $\times$)

Fig. 4 TEM morphologies of Zr-Al(Zr) alloys(30 000 $\times$)

(a) —No. 0 alloy, natural ageing; (b) —No. 0 alloy, 150 °C, 24 h ageing;
(c) —No. 3 alloy, natural ageing; (d) —No. 3 alloy, 150 °C, 24 h ageing

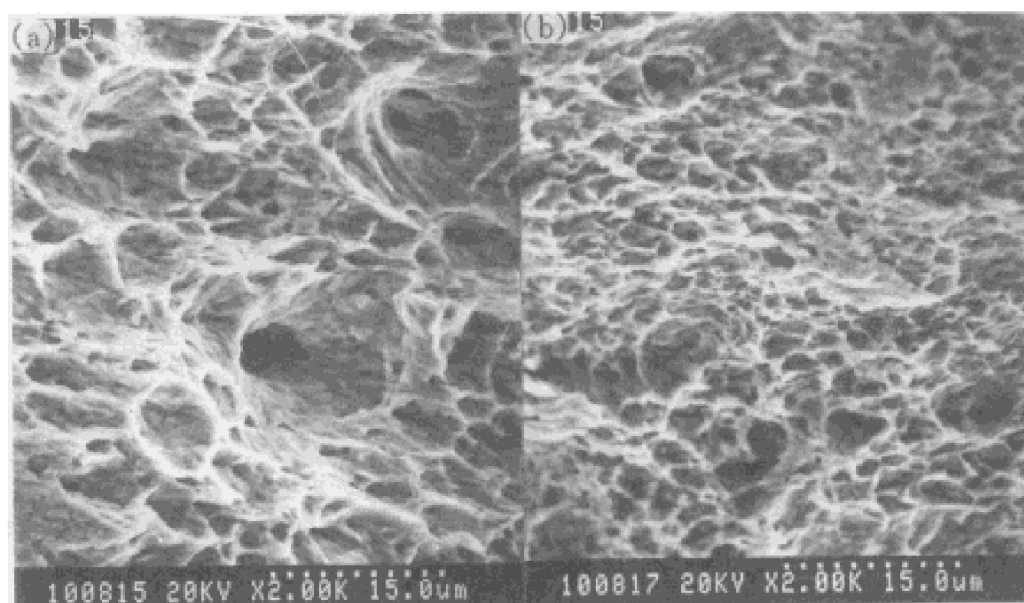


图 5 Zr-Al(Zr) 合金经 150 °C, 24 h 时效的拉伸断口形貌

Fig. 5 Tensile fracture morphologies of Zr-Al(Zr) alloys after ageing at 150 °C for 24 h

(a) —No. 0 alloy; (b) —No. 3 alloy

阻碍时效时晶粒长大和等轴程度降低的作用, 可提高 Zr-22% Al 合金的力学性能稳定性。

(3) 在三个不同含锆量的 Zr-22% Al 合金中, 含 0.18% Zr 合金强度最高, 且最稳定。

REFERENCES

- 1 栗原孝雄. 特殊钢, 1983, 32(1): 60–65.
- 2 增本量等. 日本金属学会志, 1982, 26(9): 929–934.
- 3 Gu Ming(顾敏) and Gao Guanghai(高光慧). Shanghai Metals(Nonferrous Pamphlet)[上海金属(有色分册)], 1990, 11(5): 13–19.
- 4 增本量等. 日本金属学会秋期大会一般讲演概要, 1980, 10: 229.
- 5 Qiu Tongji(邱同济), Li Shimin(李世民), Zhang Weiqi(张维奇) and Tang Defen(汤德芬). Journal of Nonferrous Metals and Rare-Earth Use(有色金属与稀土应用), 1981, 4: 1–8.
- 6 Ha Kuanfu(哈宽富). Microtheory of Metal Mechanical Properties(金属力学性质的微观理论). Beijing: Science Press, 1983: 401–409.

EFFECTS OF Zr ON MICROSTRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH DAMPING Zr-22% Al ALLOY

Pang Shaoping, Quan Meihua, Shi Yunbao and Liu Xiaogang
Jilin College of Electrification, Jilin 132021, P. R. China

ABSTRACT The effects of Zr on the microstructures and mechanical properties of the as-rolled(80 °C) Zr-22% Al alloy have been studied by measuring the curves of tensile strength versus ageing time and by means of OM, TEM and SEM. The results show that the strength of Zr-22% Al(0.08% ~ 0.32%) Zr alloys and Zr-22% Al alloy remains constant after ageing below the warm-rolling temperature(80 °C), that Zr can refine the microstructure of Zr-22% Al alloy, slow the grain growth and reduce the equiaxial degree during ageing, and that Zr can improve the strength and the stability of mechanical properties of Zr-22% Al alloy. It is found that the Zr-22% Al-0.18% Zr alloy has the highest strength and is the most stable one among three Zr-22% Al alloys tested with different Zr contents.

Key words Zr-22% Al Zr high damping ageing microstructures mechanical properties

(编辑 彭超群)