

# Nd 对 AM50 力学性能及高温性能的影响 \*

黄晓锋<sup>1,2</sup> 付彭怀<sup>1</sup> 卢晨<sup>1</sup> 丁文江<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学 2. 兰州理工大学)

**摘 要** 对加 Nd 的 AM50 镁合金铸态试样进行固溶处理 (420 °C/12 h), 研究了 Nd 对其显微组织、力学性能和抗高温蠕变性能的影响. 结果表明: Nd 的加入细化了晶粒, 导致 AM50 合金室温力学性能的提高. Nd 在 AM50 合金中形成了 Al<sub>11</sub>Nd<sub>3</sub> 高温稳定相, Al<sub>11</sub>Nd<sub>3</sub> 的存在使加 Nd 的 AM50 合金在 200 °C 的稳态蠕变率及高温 (150 °C) 力学性能大幅度提高.

**关键词** 金属材料, AM50 镁合金, 蠕变, 力学性能

**分类号** TG146

**文章编号** 1005-3093(2004)06-0593-04

## Influence of Nd on the mechanical properties and high temperature creep properties of AM50 magnesium alloy

HUANG Xiaofeng FU Penghuai LU Chen\*\* DING Wenjiang

(1. Light Alloy Net Forming National Engineering Research Center,  
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030

2. Lanzhou University of Technology, College of Materials Science and Technology, Lanzhou 730050)

\* Supported by National Hi-Tech Research and Development Program of China No.2001AA331030. Manuscript received March 29, 2004; in revised form September 10, 2004.

\*\* To whom correspondence should be addressed, Tel:(021)62933139,

E-mail: luchen@sjtu.edu.cn

**ABSTRACT** Nd was added to AM50 magnesium alloys to study the microstructure, mechanical properties and creep resistance properties. The specimens were heated at 420 °C for 12 h followed by quenching, and the results show that addition of small amount of Nd to AM50 magnesium alloys resulted in the refinement of grain. The RT strengthening mechanism of alloys containing Nd was mainly from the fine grain strengthening. Nd in AM50 exists in the form of Al<sub>11</sub>Nd<sub>3</sub> that is thermal stable phase. Due to the existing of Al<sub>11</sub>Nd<sub>3</sub>, the steady state creep rate decreased greatly at the temperature 200 °C and the elevated temperature mechanical property (150 °C) were increased.

**KEY WORDS** metallic materials, AM50 alloy, creep, mechanical properties

镁合金有高的比强度和比刚度以及优良的电磁屏蔽作用等优点, 日益成为现代工业的理想材料, 替代铝合金件甚至钢铁材料<sup>[1~3]</sup>. Mg-Al 系列镁合金目前在汽车上应用得最多<sup>[4~6]</sup>, 特别是汽车上最具有减重潜力的部件<sup>[7,8]</sup>. 但是, 当温度超过 120 °C 时这个系列合金的力学性能大幅度下降, 特别是高铝含量的 Mg-Al 合金. 这就限制了这类具有良好铸造工艺性能的低成本镁合

\* 国家八六三计划 2001AA331030 重点资助项目. 2004 年 3 月 29 日收到初稿; 2004 年 9 月 10 日收到修改稿.  
本文联系人: 卢晨, 教授, 上海市 200030, 上海交通大学轻合金精密成型国家工程研究中心

金在服役温度较高的汽车部件上的应用,如发动机和传动系统.为了提高 Mg-Al 镁的高温性能,本文研究合金元素 Nd 对 AM50 镁合金的显微组织、力学性能和高温蠕变性能的影响.

## 1 实验方法

实验用 4 种合金的成分列于表 1. 主要原料纯度分别为 Mg 99.98%, 铝 99.7%, 锌 99.5%, Nd 及 Mn 以中间合金的形式加入. 在井式坩埚炉中熔炼合金, 采用 0.5%(体积分数)SF<sub>6</sub>+CO<sub>2</sub> 混合气体保护. 用线切割将合金铸锭加工成片状拉伸试样, 试样的标距尺寸为 15 mm×3.5 mm×2 mm.

在 420 °C 对试样固溶处理 12 h. 对未固溶处理的试样进行拉伸试验, 常温和高温拉伸试验都在 Shimadzu AG-100 kN A 型岛津实验机上进行, 拉伸速度为 1 mm/min. 高温拉伸的温度选择为 150 °C. 用光学显微镜观察固溶处理试样的显微组织, 用 D/max-r X 射线标定试样的相组成. 高温蠕变试验在 CMT7504 微机控制电子万能蠕变材料试验机上进行.

表 1 合金的化学成分

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

Alloy No.	Composition			
	Al	Nd	Zn	Mg
1	4.91	0	0.26	Bal.
2	4.96	0.31	0.31	Bal.
3	4.89	0.58	0.28	Bal.
4	4.90	0.95	0.27	Bal.

## 2 结果与讨论

### 2.1 Nd 对 AM50 合金晶粒大小的影响

为更加清晰的看出加入 Nd 对 AM50 晶粒大小的影响, 对合金进行了固溶处理. 热处理后试样的晶粒大小有明显的变化. 固溶处理后 AM50 镁合金的晶粒粗大, 晶粒边界清晰 (图 1a). 加入 Nd 以后, 晶粒明显细化, 随着 Nd 加入量的增加细化效果愈发明显 (图 1b, c). 固溶处理后含 0.9% Nd 试样中的相为 Mg 和 Al<sub>11</sub>Nd<sub>3</sub>(图 2).

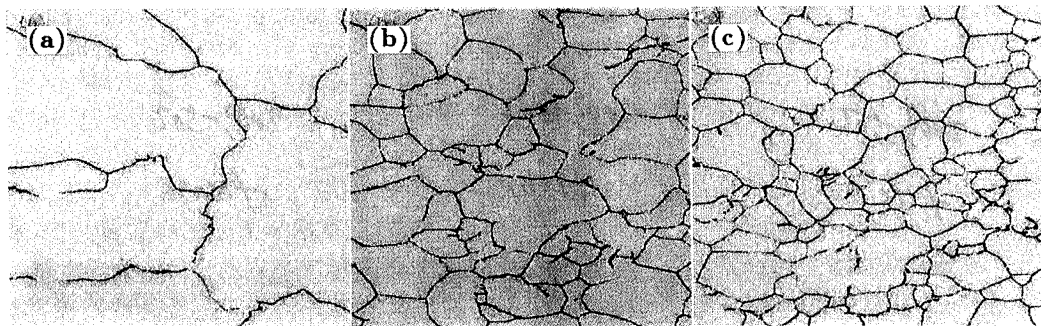


图 1 不同 Nd 含量的合金 T4 态显微组织

Fig.1 Microstructures of alloys of T4 conditions with different Nd contents

(a) AM50, (b) AM50-0.3Nd, (c) AM50-0.9Nd

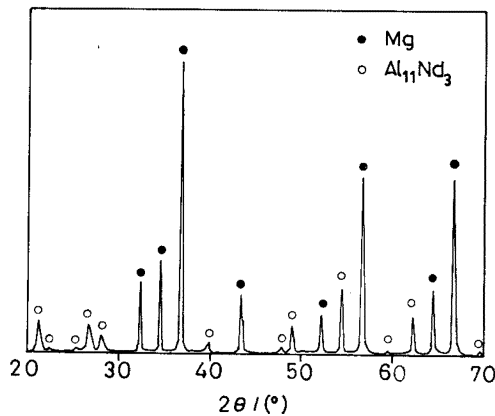


图 2 AM50-0.9Nd 合金的 XRD 图谱

Fig.2 X-ray diffraction pattern of AM50-0.9Nd alloy

## 2.2 合金的力学性能

由表 2 可见: 加入 Nd 的 AM50 合金, 室温及高温力学性能都明显提高并且随着 Nd 加入量的增加而增加. 2# 合金室温性能的提高不明显, 但是高温性能有明显的提高. 3# 与 4# 合金的  $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$  明显超过 1# 及 2#. 随着 Nd 加入量的增加, AM50 镁合金的  $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$  显著提高, 但在加入量少的情况下 (<0.3%), 其对室温性能效果不明显, 而对高温状态下的效果还是很显著的. AM50 中加入 Nd 后, 力学性能变化的主要原因是,  $Mg_{17}Al_{12}$  是一种骨骼状的低熔点相, 由于它形态粗大, 沿着晶界分布, 在镁合金拉伸试验中, 微裂纹首先形成于网络状的  $\beta$ - $Mg_{17}Al_{12}$  相内或骨骼状的  $\beta$  相与基体的界面结合处. 由于稀土元素为表面活性元素, 因此多在晶粒边界与铝优先形成铝-稀土化合物<sup>[9,10]</sup>,

针状的  $Al_{11}Nd_3$  同样是裂纹源, 降低合金力学性能. 但从另一方面, Nd 加入 AM50 以后, 优先与铝反应生成  $Al_{11}Nd_3$ ,  $Al_{11}Nd_3$  集中在晶粒边界, 因而阻碍了凝固过程中晶粒的长大, 细化晶粒产生了细晶强化作用, 使合金的力学性能提高. 室温力学性能是否提高取决于 Nd 加入所引起的细晶强化作用是否超过由于其加入而产生的开裂趋势. 当 Nd 的加入量小于 0.3% 时, 从金相上可以观察到晶粒的细化, 但还不足以使室温  $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$  明显提高. 随着 Nd 加入量的增加, 对晶粒的细化导致室温  $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$  的明显提高. 在高温 (150 °C) 条件下, 加入 0.3% 的 Nd 对  $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$  的提高就有明显的作用, 并且随 Nd 加入量的增加而明显提高. 其原因是在高温条件下晶界更容易运动, 而存在于晶界的  $Al_{11}Nd_3$  是高温稳定相, 具有钉扎晶界的作用.

表 2 合金的力学性能

Table 2 Mechanical properties of alloys

No.	Composition/%	Room temp.		150 °C	
		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
1	AM50	200	97	140	73
2	AM50-0.3Nd	203	105	155	91
3	AM50-0.6Nd	215	119	173	101
4	AM50-0.9Nd	224	135	179	115

## 2.3 合金的抗高温蠕变性能

在给定的应力下, 随着温度的升高, 通常将蠕变分为三种类型: 当温度  $T < 0.3T_m$  (K 氏温度) 时发生的蠕变称之为对数蠕变 (又称低温蠕变); 当温度  $0.3T_m < T < 0.6T_m$  (K 氏温度) 时发生的蠕变称之为中温回复蠕变; 当  $T > 0.9T_m$  时, 蠕变称为高温扩散蠕变. 对于镁合金的大量应用领域 (如汽车, 航空工业), 中温回复蠕变显得尤为重要<sup>[11,12]</sup>. 本文选定的试验温度为 200 °C.

从图 3 可以看出, 在试样加载后的前 10 h, 蠕变量迅速增加, 这是完整蠕变曲线的减速蠕变

阶段,蠕变率随时间增加而减小.此后各曲线进入稳态蠕变阶段(图3中加Nd的各曲线).但对于AM50镁合金,该合金在应力加载10h后,蠕变速率仅是略见减小就进入加速阶段,随后合金断裂. AM50第二阶段蠕变率是加入0.9%以后形成的合金的第二阶段蠕变率的3倍,说明加入Nd以后,AM50抗高温蠕变性能明显提高(表3).

表3 200℃, 50 MPa下合金的第二阶段蠕变率

Table 3 Secondary creep rate of alloys for tests conducted at 50 MPa, 200℃

No.	Composition/%	Creep rate/ $10^{-8}\text{s}^{-1}$
1	AM50	20.19
2	AM50-0.3Nd	11.29
3	AM50-0.6Nd	8.162
4	AM50-0.9Nd	6.491

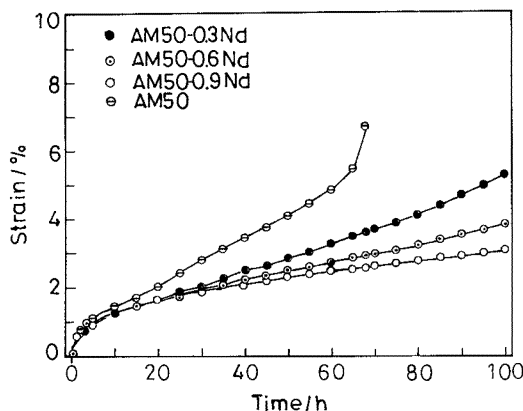


图3 200℃, 50 MPa下合金的蠕变曲线

Fig.3 Creep curves of alloys for tests conducted at 50 MPa and 200℃

### 3 结 论

1. 在AM50镁合金中加入微量Nd有效细化了晶粒,提高了室温及高温(150℃)条件下的抗拉强度及屈服强度.

2. 在AM50镁合金中加入Nd形成了高温稳定相 $\text{Al}_{11}\text{Nd}_3$ ,能有效地改善AM50镁合金的抗高温蠕变性能,降低第二阶段蠕变率,表明加入微量的Nd是改善AM50镁合金高温性能的有效途径.

### 参 考 文 献

- Robert Brown, Light Metal Age, **56**, 86(1998)
- PENG Liming, ZENG Xiaoqin, ZHU Yanping, DING Wenjiang, Chinese Journal of Materials Research, **17**(1), 97(2003)  
(彭立明, 曾小勤, 朱燕萍, 丁文江, 材料研究学报, **17**(1), 97(2003))
- Robert E. Bob Brown, Light Metal Age, **56**, 94(1998)
- P.Humble, Materials Forum, **21**, 45(1997)
- YUAN Guangyin, SUN Yangshan, ZHANG Weiming, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, **10**(4), 469(2000)
- Y.Carbonneau, A.Couture, Van Neste, Metallurgical and Materials Transactions A, **29A**, 1759(1998)
- B.Bronfin, M.Katsir, E.Aghion, Materials Science and Engineering A, **302**, 46(2001)
- X.F.Huang, H.Zhou, Z.M.He, J. Rare Earth, **21**(1), 73(2003)
- J.J.Kim, K.H.Kim, K.S.Shin, Scripta Materialia, **41**(3), 333(1999)
- I.J.Polmear, Materials Transaction JIM, **12**(9), 741(1996)
- I.J.Polmear, Materials Science and Technology, **10**(1), 1(1994)
- G.Pettersen, H.Westengen, R.Hoier, Materials Science and Engineering A, **207**, 115(1996)