

文章编号: 1672 - 058X(2009)01 - 0027 - 04

# 稀土元素 Y 对变形镁合金 ZK60 的组织性能的影响

陶国林<sup>1</sup>, 胡 华<sup>2</sup>

(1. 重庆工商大学 实验与实验设备管理处, 重庆 400067; 2 四川蜀渝重庆公司装备管理中心, 重庆 400020)

**摘 要:**通过对 Mg - 6.0Zn - 1.2Y, Mg - 6.0Zn - 0.6Zr - 1.0Y 变形镁合金挤压态及经过各种热处理的试样的显微组织分析及力学性能研究, 探讨了微量稀土元素 Y 在 ZK60 合金中的存在形式和作用机理对该合金组织与力学性能的影响。结果表明, 稀土元素 Y 能使变形镁合金 ZK60 晶粒明显得到细化, 晶界也变细; 当添加的稀土 Y 含量为 1.0% wt 时, 大量的 Y 和 Zn 在晶界富集, Y - Zn 相颗粒变大, 导致其强度下降, 而延伸率增加。

**关键词:** ZK60 变形镁合金; Y; 显微组织; 力学性能

**中图分类号:** TG 146

**文献标识码:** A

ZK60 合金是 20 世纪 40 年代末首次开发成功的, 20 世纪 60 年代后期进入工程应用领域。ZK60 合金之所以受到人们的青睐, 是因为它是现在所有商用镁合金中强度最高的一种, 也是 Mg - Zn - Zr 合金系中性能最优越的一种。然而 ZK60 合金并不是无懈可击的材料, 它还存在如热裂倾向严重、塑性差等诸多缺点。为改善 ZK60 合金的力学性能, 拓宽它的应用领域, 许多材料工作者针对 ZK60 进行了晶粒细化、超塑性、复合材料的研究<sup>[1,2]</sup>。

课题通过对 ZK60 及 Mg - 6.0Zn - 1.2Y, Mg - 6.0Zn - 0.6Zr - 1.0Y 变形镁合金挤压态及经过各种热处理的试样的显微组织分析及力学性能研究, 分析稀土元素 Y 对 ZK60 变形镁合金的显微组织和力学性能的影响, 获得了该合金系列的力学性能及显微组织与热处理温度和时间的定量关系, 并初步掌握成分和工艺对相变和变形行为的影响机理。

## 1 实验方案

为了达到实验研究的目的, 共制备了 3 种镁合金: ZK60 (Mg - Zn - Zr)、Mg - Zn - Y 及 Mg - Zn - Zr - Y, 其合金元素含量如表 1 示。

表 1 3 种镁合金元素含量

镁 合 金	Mg	Zn	Zr	Y	%
ZK60	其余	6.0	0.45	—	
Mg - Zn - Y	其余	6.0	—	1.2	
Mg - Zn - Zr - Y	其余	6.0	0.6	1.0	

收稿日期: 2008 - 07 - 03; 修回日期: 2008 - 11 - 25。

作者简介: 陶国林 (1975 - ), 男, 四川德阳人, 助理研究员, 从事材料学研究。

实验方案如图 1 所示:

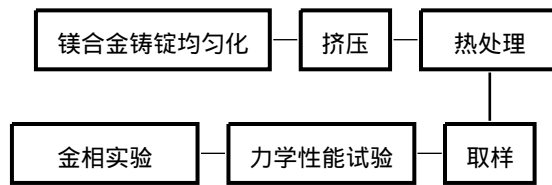


图 1 实验方案流程

实验中对铸锭进行均匀化处理时,采用电阻炉给铸锭加热,炉子的工作温度为 450 左右。实验中采用的铸锭直径 =130 mm,均匀化处理温度为 400 ,保温时间为 24 h。

所用的挤压机是重庆镁业科技股份有限公司的 800 t 挤压机,挤压棒材的直径 为 15 mm,挤压温度定为 400 。镁合金棒材挤压时的实验工艺参数见表 2。

表 2 变形镁合金挤压工艺参数

坯料温度 /	挤压筒温度 /	挤出温度 /		挤压速度 / (m/min)	挤压比
		前端	后端		
370	400	360	320	1~2.5	55.75

然后对棒材进行热处理,其中 F 处理制度为挤压态, T5 处理制度为 180 时效 24 h, T6A 处理制度为 400 固溶后加 180 时效 24 h, T6B 处理制度为 450 固溶后加 180 时效 24 h, T6C 处理制度为 500 固溶后加 180 时效 24 h<sup>[3]</sup>。

力学性能测试在新三思 CMT-5105 微机控制电子万能试验机上进行。直接通过传感器将数据传输到电脑上,使得数据更加容易读出,自动生成实验数据更加准确的图表。主要是测出变形镁合金 ZK60、Mg-6.0Zn-1.2Y 及 Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 3 种合金各种热处理及挤压态试样的屈服强度  $\sigma_{0.2}$ 、抗拉强度  $\sigma_b$  及断后延伸率  $\delta$ 。采用 NEOPHOT-21 金相显微镜对合金材料的金相组织进行了观察<sup>[4]</sup>。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 Y 对 ZK60 显微组织的影响<sup>[5,6]</sup>

图 2-图 4 分别为变形镁合金 ZK60 及 Mg-6.0Zn-1.2Y、Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 合金试样的挤压态显微组织。比较可以看出,变形镁合金 ZK60 挤压态试样晶粒度粗大,晶界比较宽大,晶内析出颗粒也较大。而添加了稀土元素 Y 后, Mg-6.0Zn-1.2Y、Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 挤压态试样明显表现出晶粒得到细化,晶界也明显变细,晶内析出物也明显变小且增多。

由于高熔点合金元素 Y 的加入,使得合金从液相凝固成固相过程中,得到了更多的凝结核,从而使合金的金相组织得到了细化,晶粒度变小。合金组织细化后,导致晶界表面积增加。在晶界相体积不变的情况下,晶界变窄。在 ZK60 合金中,合金主要生成相为 MgZn 和 MgZn<sub>2</sub>,其余还有少量的 Zr-Zn 相。但在

ZK60 合金中加入 Y 后,合金中除了有上述生成相之外,还有大量的 Y-Zn 相和 Mg-Y 相生成。由于大量的 Y-Zn 相和 Mg-Y 相的生成,使得生成 MgZn 和 MgZn<sub>2</sub> 相的形核几率和它们长大的几率变小。从金相照片对比可看出, ZK60 合金加入 Y 后,其析出相变得更多、更弥散、更细小。

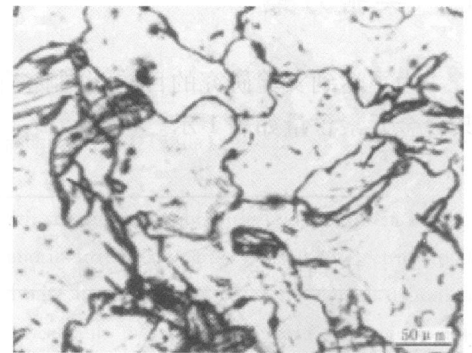


图 2 ZK60 挤压态显微组织

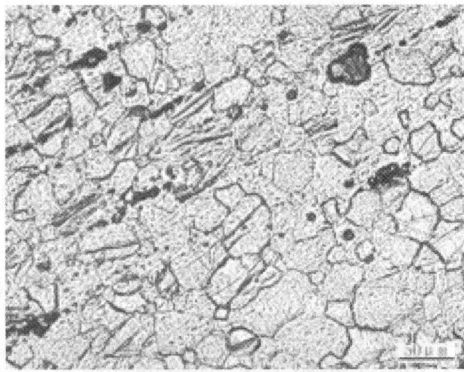


图 3 Mg-6.0Zn-1.2Y 挤压态显微组织

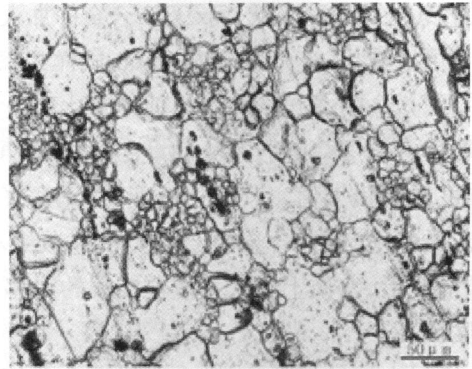


图 4 Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 挤压态显微组织

### 2.2 Y对 ZK60力学性能的影响<sup>[7]</sup>

图 5和图 6分别给出了变形镁合金 ZK60与 Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y镁合金试样在不同的热处理条件下抗拉强度  $\sigma_b$  及延伸率  $\delta$  的比较。

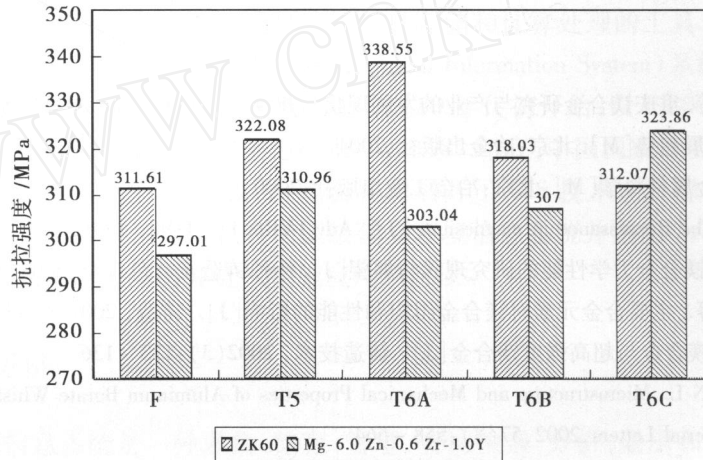


图 5 ZK60 与 Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 抗拉强度  $\sigma_b$  的比较

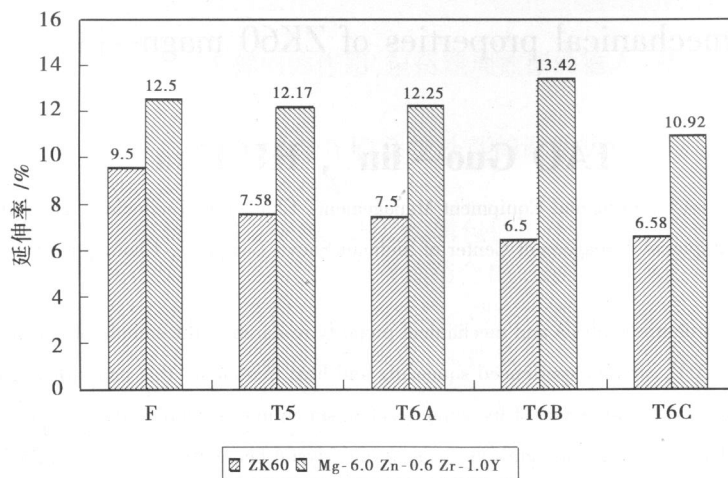


图 6 ZK60 与 Mg-6.0Zn-0.6Zr-1.0Y 延伸率  $\delta$  的比较

由图 5可以看出,变形镁合金 ZK60挤压态试样在添加稀土 Y后,其抗拉强度明显下降,经 180 时效处理后抗拉强度有所增加,但与经过相同热处理的 ZK60相比还是比较低。ZK60合金固溶加时效的试样随着固溶

温度的增加,其抗拉强度降低,而 ZK60 合金中加入 Y 后,随着固溶温度的增加,试样的抗拉强度增加。

由图 6 可以看出,变形镁合金 ZK60 试样在添加稀土 Y 后,延伸率大幅度增加,当试样经过 450 °C 固溶后加 180 °C 时效 24 h 的处理后,其延伸率达到最大,为 13.42%。

在变形镁合金 ZK60 中添加适量的稀土 Y,可以使合金的抗拉强度有较大提高,当 Y 含量为 0.94% wt 时,抗拉强度出现极大值。其强化机理为:元素 Y 可以在合金中起到变质作用,改善合金的金相组织,同时在挤压工艺条件下,能在合金内产生大量弥散细小的 Y - Zn<sub>2</sub>Mg - Y 相,同时可产生亚晶组织。从微观上看,合金塑性变形,实质上就是大量位错线的滑移,而析出的质点和亚晶界可以有效地阻止位错运动,因而能使合金强度提高。

但是,通过上述数据的比较,在变形镁合金 ZK60 中添加 1.0% wt 的稀土 Y,其强度却降低,而延伸率增加,塑性增强。造成这种结果的原因可能是当 Y 的含量超过 0.94% wt 时,合金中随着 Y 含量的增加,Y 和 Zn 固溶度不断减少,并在晶界形成 Y - Zn 相。由于 Y - Zn 相粒度大,熔点及强度低,大量的大颗粒 Y - Zn 相形成会使合金力学性能下降。当 Y 含量为 1.0% wt 时,大量的 Y 和 Zn 在晶界富集,导致晶界变宽,Y - Zn 相颗粒变大,并出现共晶组织,因而导致其强度下降。从图还可以发现,固溶强化加时效处理和时效处理都可以提高镁合金的强度<sup>[8]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 张丁非,丁培道,潘复生,等. 重庆镁合金研究与产业的发展现状与建议 [J]. 材料导报, 2004 (8A): 16
- [2] 向群,屈伟平. 镁合金的发展趋势 [M]. 北京:冶金出版社, 2004
- [3] 吴承建,陈国良,强文江. 金属材料学 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2000
- [4] RAYMOND F, DECKER. The Renaissance in magnesium [J]. Adv Mater Res, 1998, 154 (3): 31 - 33
- [5] 高红涛,吴国华,丁文江. 镁合金力学性能的研究现状与展望 [J]. 特种铸造及有色合金, 2003 (增刊): 60 - 63
- [6] 张诗昌,段汉桥,蔡启舟,等. 主要合金元素对镁合金组织和性能的影响 [J]. 铸造, 2001 (6): 310 - 315
- [7] 郭学锋,魏建锋,张忠明. 镁合金与超高强度镁合金 [J]. 铸造技术, 2002 (3): 133 - 136
- [8] YIM Z, KUN W, HANCEN L. Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Borate Whisker - Reinforced Magnesium Matrix Composites [J]. Material Letters, 2002, 57 (3): 558 - 564

## Influence of rare - earth element Y on microstructure and mechanical properties of ZK60 magnesium alloys

TAO Guo - lin<sup>1</sup>, HU Hua<sup>2</sup>

(1. Department of Experiment and Experimental Equipment Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067; 2. Chongqing Equipment Management Center of Sichuan Shuyu Company, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Based on microstructure analysis and mechanical property research of the sample of magnesium alloy, Mg - 6.0Zn - 1.2Y and Mg - 6.0Zn - 0.6Zr - 1.0Y, which experienced squeezing and heat treatment, this paper discussed the existence form of rare - earth element Y in ZK60 alloy and the influence of its acting mechanism on microstructure and mechanical property of this alloy. The result shows that rare - earth element Y can make grain refinement and crystal boundary refinement of ZK60 magnesium alloy and that, when the amount of added rare - earth element Y is 1.0% wt, a lot of Y and Zn are enriched at crystal boundary, Y - Zn phase grain becomes larger, as a result, the intensity of the alloy decreases and the extensibility increases

**Keywords:** ZK60 magnesium alloy; Y; microstructure; mechanical property

责任编辑:李翠薇