

• 试验研究 Experimental Research •  
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.08.001

# 稀土元素 La 对 Zn-Al<sub>2</sub> 合金组织与性能的影响

刘明阳<sup>1</sup>, 李新涛<sup>1</sup>, 李继林<sup>1,2</sup>, 周楠<sup>1</sup>

(1.广东省材料与加工研究所, 广东 广州 510651; 2.西安理工大学材料与工程学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:**采用铁模铸造法制备不同稀土元素 La 含量的 Zn-Al<sub>2</sub> 合金;通过光学显微镜、扫描电镜、万能拉伸试验机,研究添加不同含量镧对 Zn-Al<sub>2</sub> 合金显微组织、稀土相形态、力学性能的影响。结果表明,随着稀土镧的加入,合金初生相  $\eta$  相尺寸变小,晶粒细化,力学性能提高。当稀土 La 含量超过 0.03%时,初生相  $\eta$  相变大,稀土化合物尺寸增大,偏聚在晶界附近,割裂基体导致力学性能下降。当稀土 La 含量为 0.03%时力学性能最佳,抗拉强度,屈服强度和伸长率依次为 262.73 MPa, 246.46 MPa 和 49.5%。

**关键词:** Zn-Al<sub>2</sub> 合金; 稀土元素 La; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG146.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2020)08-0707-03

## Effect of La on the Structure and Properties of Zn-Al<sub>2</sub> Alloy

LIU Mingyang<sup>1</sup>, LI Xintao<sup>1</sup>, LI Jilin<sup>1,2</sup>, ZHOU Nan<sup>1</sup>

(1. Institute of Material and Forming Technology of Guangdong Province, Guangzhou 510651, China; 2. School of Material Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Zn-Al<sub>2</sub> alloy with different La content was prepared by iron mold casting. The effect of different La content on the microstructure, rare earth phase morphology and mechanical properties of Zn-Al<sub>2</sub> alloy was studied by optical microscope, scanning electron microscope and tensile tester. The results show that with the addition of La, the size of the primary phase  $\eta$  becomes smaller, the grain size is refined, and the mechanical properties are improved. When the La content of exceeds 0.03%, the primary phase  $\eta$  transformation is larger, the size of rare earth compounds increases, and it tends to concentrate near the grain boundary, which leads to the decrease of mechanical properties. When the La content of rare earth is 0.03%, the mechanical properties are the best. The tensile strength, yield strength and elongation are 262.73mpa, 246.46mpa and 49.5%, respectively.

**Key words:** Zn-Al<sub>2</sub> alloy; rare-earth element La; fied microstructure; mechanical properties

锌铝合金具有良好的力学性能、阻尼性能;良好的耐磨减摩性能对环境无污染等优势,用其代替部分铜合金具有明显地经济性<sup>[1,2]</sup>。同时,该合金熔点低、耗能少、成本低廉、流动性好成型方便,适合于多种铸造方法,因此具有很强的市场竞争力,对其研究和应用也在不断地深入和发展,并成为金属材料科学研究的热点之一<sup>[3-5]</sup>。目前锌及锌合金主要应用于钢材的防腐,本文研究锌铝合金中添加稀土元素目的是改善内部铸造组织为提供优质的镀层材料打下基础<sup>[6,7]</sup>。

## 1 实验过程与试验方法

本实验材料选用 Zn-Al<sub>2</sub> 合金。实验成分设计如表 1,所用锌锭是市场上常见的 0# 锌,铝为工业纯铝,镧为 Al-10La(质量分数)合金。实验熔炼设备采用石墨坩埚在井式电阻炉中熔炼,先将石墨坩埚预热至 500 °C 然后加入铝块,升温到 720 °C 待铝化成液体后加入锌块最后加入 Al-10La 合金,熔炼温度为 580~600 °C,保温时间 1 h,浇注温度 530 °C,精炼扒渣后浇入预热温度 150 °C 铁模具中。

表 1 锌铝合金的化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of zinc aluminum alloy

编号	Al	Mg	La	Zn
0	2.0	0.01	0	余量
1	2.0	0.01	0.03	余量
2	2.0	0.01	0.06	余量
3	2.0	0.01	0.09	余量

分别从 4 个式样相同位置切 10 mm×10 mm,经镶样、粗磨、细磨、金刚石研磨膏机械抛光后,用腐蚀

收稿日期: 2020-02-28

基金项目: 广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目(2019GDASYL-0302017);广东省省级科技计划项目(2015B090926007)

作者简介: 刘明阳(1991-),河北石家庄人,硕士学历,助理工程师,主要从事锌合金方向研究开发方面的工作。

电话:020-61086666, E-mail: 775282152@qq.com

通讯作者: 李新涛(1976-),河南平顶山人,硕士研究生导师、高级工程师。电话:020-61086182

剂腐蚀 5 s,然后用去离子水清洗干燥后,通过 Leica DMI 5000M 金相显微镜观察显微组织,并在配有能谱仪(EDS)的 JXA-8100 电子探针上观察组织中生成相粒子大小、形貌、分布。按照 GB/T 228-2002《金属材料室温拉伸试验方法》在 DNS200 电子万能试验机上进行拉伸试验,拉伸速度为 2 mm/min,记录 4 种材料的抗拉强度、屈服强度和伸长率,每种取 3 个试样的平均值作为该种材料的性能值。腐蚀液成分分配比为:蒸馏水 100 mL、三氧化铬 20 g、无水硫酸钠 105 g。合金具体的成分分配比如表 1。

## 2 实验结果讨论

### 2.1 稀土元素对组织的影响

Zn-Al<sub>2</sub> 合金属于亚共晶合金,首先析出的是粗大的初晶  $\eta$  富锌相,382 °C 时发生共晶反应生成  $\beta$  和  $\eta$  的层片状共晶组织,接着冷却时从  $\eta$  相中析出铝; $\beta$  相 275 °C 发生共析转变为  $\alpha$  和  $\eta$  的共析体。图 1 分别为添加 0、0.03%、0.06%、0.09% 不同镧含量(质量分数)的锌铝合金显微组织照片,从图 1 中可以看出添加镧有显著的变化:未添加镧的样品初生  $\eta$  相粗大见图 1(a)。添加 0.03%、0.06% 镧之后合金显微组织细化初生  $\eta$  相趋近于等轴状见图 1(b)、(c)是因为稀土与锌、铝元素形成化合物成为异质形核的核心,使枝晶变小,但是当镧的含量到 0.09% 时与 0.03%、0.06% 相比组织并没有进一步细化、反而变得粗大,见图 1(d)。

利用扫描显微镜进一步放大观察形貌并经过

能谱分析可以确定金相照片中的亮色为初生富锌  $\eta$  相,暗黑色为共晶组织中的富铝  $\alpha$  相,白亮小颗粒状是富镧稀土相,见表 2 EDS 能谱分析。从图 2 看出随着稀土镧含量的增多,扫描组织中白亮色稀土相尺寸在增大并明显增多富集在晶界附近。

表 2 能谱分析结果 (at%)

Tab.2 EDS analysis results

Spectrum	Al	Zn	La
1	1.48	98.52	
2	28.60	71.40	
3	0.89	84.83	14.28
4	1.19	84.48	14.33
5	0.84	84.33	14.83

### 2.2 稀土元素对力学性能影响

表 3 是不同稀土元素 La 加入量 Zn-Al<sub>2</sub> 合金抗拉强度、屈服强度伸长率的具体值。由表可知随着稀土 La 的加入材料的强度呈现先上升后下降的趋势,这是由于由于稀土的加入起到细化晶粒的作用,刚开始随着稀土的加入初生  $\eta$  相开始变得细小见图 1(b) 所示,当稀土 La 加入量为 0.03% 时强度达到最大,此时抗拉强度为 262.73 MPa,屈服 246.46 MPa,

表 3 实验合金铸态力学性能

Tab.3 As cast mechanical properties of experimental alloy

La 含量	$R_m$ /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	$A$ (%)
0	212.13	190.22	38.8
0.03%	262.73	246.46	49.5
0.06%	181.50	163.85	60.2
0.09%	147.19	128.16	80.5

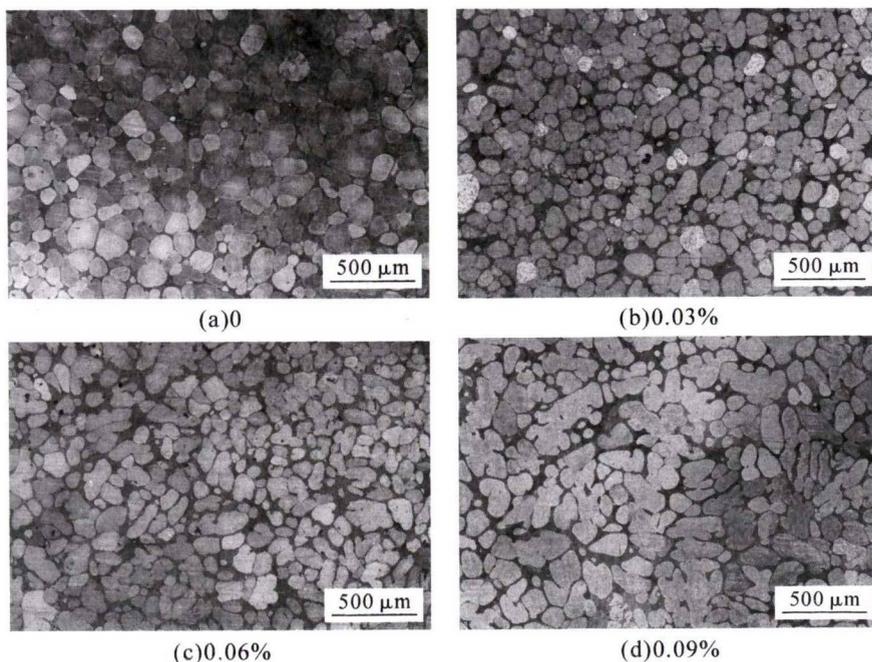


图 1 不同含量镧的金相组织

Fig.1 Microstructure of La with different contents

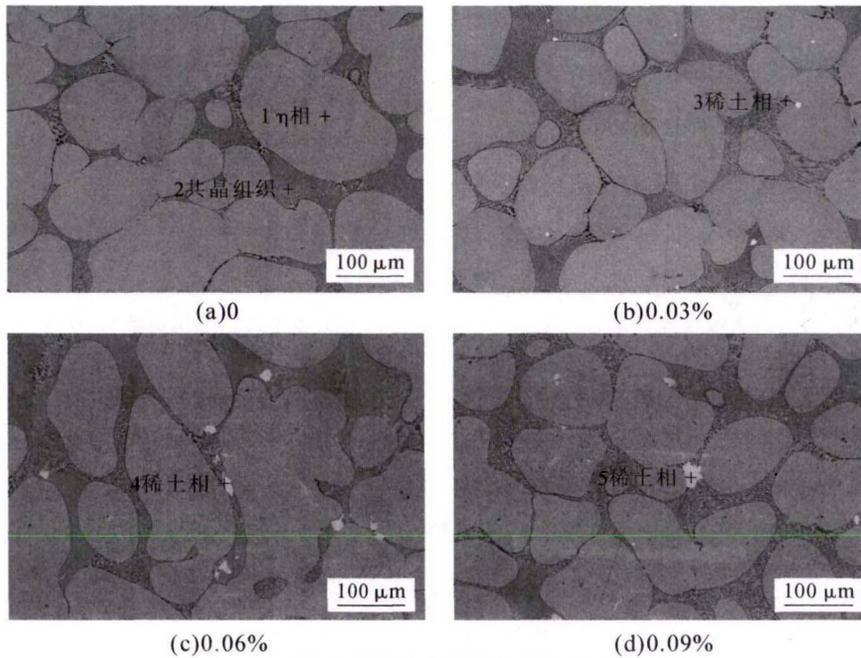


图2 不同镧含量的扫描组织  
Fig.2 SEM of La with different contents

伸长率 49.5%。当稀土 La 添加量超过 0.03% 后抗拉强度和屈服强度反而成下降趋势,这是因为稀土添加过一定量后团聚在一起形成较大的形状不规则颗粒分布在晶界附近见图 2,割裂基体的连续性,导致力学性能明显下降。

锌铝合金本身具有较高的塑性,稀土元素有净化熔体、除气的作用,随着稀土元素含量增加到 0.09% 过程,材料内部夹杂和气孔等缺陷减少。断裂源变少从而韧性有明显的提高,伸长率从 38.8% 提高到 80.5%。

### 3 结论

(1) 在 Zn-Al2 合金中添加稀土镧能使初生  $\eta$  相变小、晶粒细化并有稀土化合物生成,但是随着镧含量的增加超过 0.03% 后合金中的稀土相变成粗大的块状,导致基体割裂力学性能下降。

(2) 当稀土镧含量为 0.03% 时力学性能达到最佳抗拉强度 262.73 MPa; 屈服强度 246.46 MPa; 伸长率 49.5%

(3) 随着稀土镧含量的增加材料伸长率显著提高,当 La 添加量为 0.09% 时材料伸长率最高可达 80.5%。

### 参考文献:

- [1] 孙连超,田荣璋. 锌及锌合金物理冶金学[M]. 中南工业大学出版社, 1995.
- [2] 闫承俊,王吉岱. 锌铝合金的研究现状及应用[J]. 中国铸造装备与技术, 2005(4):4-7.
- [3] 刘永红,张忠明,刘宏昭,等. 锌铝合金的研究现状及应用概况[J]. 铸造技术, 2001(1):42-44.
- [4] 薛涛,古文全,龚品林. 稀土对压铸锌合金相组织及力学性能的影响[J]. 中国稀土学报, 1998(3):39-42.
- [5] 李亚国,朱奕庆,薛涛,等. 钬对 ZZn4-1 锌合金性能和微观组织的影响[J]. 中国稀土学报, 1999(4):86-89.
- [6] El-Khair M T A, Daoud A, Ismail A. Effect of different Al contents on the microstructure, tensile and wear properties of Zn-based alloy[J]. Materials Letters, 2004, 58(11):0-1760.
- [7] 顾春雷,张伟强,金花子,等. 锌及锌铝合金研究及应用现状. 有色金属, 2003, 55(4):44-47.

## 《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章:1、铸铁件均衡凝固与有限补缩;2、铸铁件冒口补缩设计及应用;3、压边浇冒口系统;4、浇注系统大孔出流理论与设计;5、铸件均衡凝固工艺;6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7、浇注系统当冒口补缩设计方法;8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页,特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询:李巧凤 029-83222071,技术咨询:13609155628