

# 稀土钇对 ADC12 合金的组织性能的影响

饶远生 闫洪 胡志 胡小武

(南昌大学先进成形研究所)

**摘要** 研究了不同含量的稀土钇(Sm)对 ADC12 铝合金的组织性能的影响。结果表明,稀土元素 Sm 的加入明显改善铝合金的微观组织形貌,并能提高其力学性能。当添加 0.3%~1.0% 的 Sm 时,合金组织得到较明显细化,共晶硅也由粗大针状变为短棒状、球状。1.0% 时细化效果最佳,此时其晶粒约为 30  $\mu\text{m}$ ,其抗拉强度为 220 MPa,比 ADC12 提高了 22%,伸长率从 1.0% 提高到 3.1%。当添加量达到 1.5% 时,细化效果变弱,抗拉强度和伸长率也出现下降趋势。

**关键词** 钇;铝合金;微观组织;力学性能

**中图分类号** TG146.21

**文献标志码** A **文章编号** 2011(S)-0092-03

## Effects of Sm Addition on Microstructure and Mechanical Properties of ADC12 Alloy

Rao Yuansheng, Yan Hong, Hu Zhi, Hu Xiaowu

(NanChang University, Nanchang, 330031, China)

**Abstract:** The microstructures and mechanical properties of ADC12 alloy with different Sm additions have been investigated. The results show that Sm addition to ADC12 alloy has obvious effect. With 0.3%~1.0% Sm addition, the grain size is remarkably refined, the eutectic Si transformed from needle-flake shape to sphericity and a little grain. The microstructure and mechanical property of the alloy with 1.0% Sm addition are found to be optimum with grain size of 30  $\mu\text{m}$ . The maximum values of the tensile strength and elongation were 220MPa and 3.1% at 1.0% Sm alloy content, increased by 22% and 210% respectively compared with non-modified alloy. However, with 1.5% Sm addition, the tensile strength and elongation decreased and the coarse microstructures appeared.

**Key Words:** Sm; ADC12 Alloy; Microstructure; Mechanical Properties

随着航空、航天以及交通运输业的飞速发展,对结构材料的要求变得越来越高,在保证强度的前提下应尽量减轻质量,以提高运载能力和速度,并降低成本。铝合金因其密度小、比强度高等优点能较好的满足这些要求<sup>[1]</sup>。就目前形势发展而言,优异性能铝合金的需求将变得越来越大,其在国民经济、国防等方面扮演的角色也日益突出,因此提高铝合金的优越性能也就越发迫切。研究表明在铝合金中加入微量稀土元素,可以显著改善铝合金的组织,细化晶粒,去除铝合金中气体及有害杂质,减少铝合金的裂纹源,从而提高铝合金的强度,改善加工性能,还能改善铝合金的耐热性、可锻性及可塑性,提高硬度、增加强度和韧性<sup>[2]</sup>。稀土元素的加入使得铝合金的性能得到明显的改善。加之我国丰富的稀土资源,稀土铝合金将具有巨大的应用、研究前景<sup>[3]</sup>。目前对相关稀土元素铝合金的研究已经取得了较大的进展,如韩剑等<sup>[4]</sup>研究了稀土钇对 7055 铝合金铸态组

织的影响;张向宇等<sup>[5]</sup>研究了稀土 La 对 6063 铝合金组织与时效性能的影响。而关于稀土钇(Sm)对铝合金影响的研究几乎没有。为了更进一步挖掘稀土铝合金的潜能,因此本课题就稀土 Sm 对铝合金的组织性能的影响进行了研究。

## 1 试验材料和方法

试验用材料有 ADC12 铝合金(成分见表 1), Al-15Sm 中间合金,所有原料装炉前均进行干燥处理。采用这些原料配制成 Sm 含量(质量分数,下同)分别为 0、0.3%、0.5%、1.0%、1.5% 的试验合金。将基体 ADC12 合金放入电阻式石墨坩锅炉内加热到 720~750  $^{\circ}\text{C}$  至完全熔化,加入中间合金,经除气、搅拌、保温 30 min、精炼、扒渣等工序后于 710  $^{\circ}\text{C}$  浇注到预热 250  $^{\circ}\text{C}$  的金属型中,而后制样,金相试样使用体积分数为

收稿日期:2011-05-25

基金项目:江西省高等学校科技创新团队资助项目(00008713)

第一作者简介:饶远生,男,硕士研究生,南昌大学先进成形研究所,南昌(330031),电话:15879003403, E-mail:raoyuansheng@126.com

通讯作者:闫洪,男,教授,南昌大学先进成形研究所,南昌(330031),电话:0791-3969633, E-mail:yanhong\_wh@163.com

0.5% 的 HF 酸溶液进行腐蚀。

拉伸试验在 CSS44200 万能电子拉伸试验机进行, 按 GB/T2282002 标准确定拉伸试样的直径为 8 mm, 拉伸速率 1 mm/min; 在 MeF3 高性能金相显微镜下观察试样铸态组织; 用 HXS-1000HZ 硬度计测试合金的硬度, 硬度测试取 5 个测点的平均值为试验硬度值。

表 1 ADC12 铝合金成分质量分数 %

$w_B$								
Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Sn	Al
10.5~11.53	0~3.5	0.3	0.3~0.60	0.3~0.5	0.5	0.6~0.9	0.3	余量

## 2 试验结果

### 2.1 合金显微组织

图 1 为合金的铸态显微组织形貌, 图 1 中 A 为

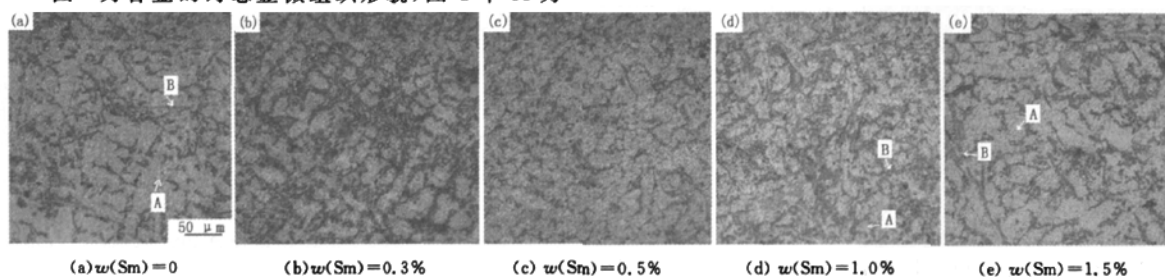


图 1 不同 Sm 含量的 ADC12 合金的显微组织

### 2.2 合金力学性能

图 2 为不同 Sm 含量对 ADC12 合金的力学性能的影响。从图 2a 和图 2b 可以看出, 当合金中 Sm 的含量从 0 增加到 1.0% 时, 合金的抗拉强度和伸长率均逐渐增加。Sm 含量为 0.3% 时, 合金的抗拉强度为 189 MPa, 伸长率为 1.8%, 之后随含量增多两者均呈上升趋势, 当含量为 1.0% 时, 抗拉强度和伸长率分别达到 220 MPa 和 3.1%, 分别比 ADC12 提高了 22%、210%, 此时强塑性配合最好。此后, 随 Sm 含量的继续增加,

合金的抗拉强度、伸长率都略有下降。当含量为 1.5% 时, 抗拉强度为 202 MPa, 伸长率下降至 2.5%。可见, 稀土 Sm 的加入以及加入量的多少都会对该合金的力学性能产生较大的影响, 这与文献<sup>[6]</sup>的研究结果相符。另外, 从图 2 中可以看出, 加入 Sm 后合金的硬度(HV)变化不是很明显, 一直维持在 90 左右。这有可能是因为生成的含 Sm 相比较少, 合金中相结构没有发生明显改变, 因此合金硬度也就变化不大。

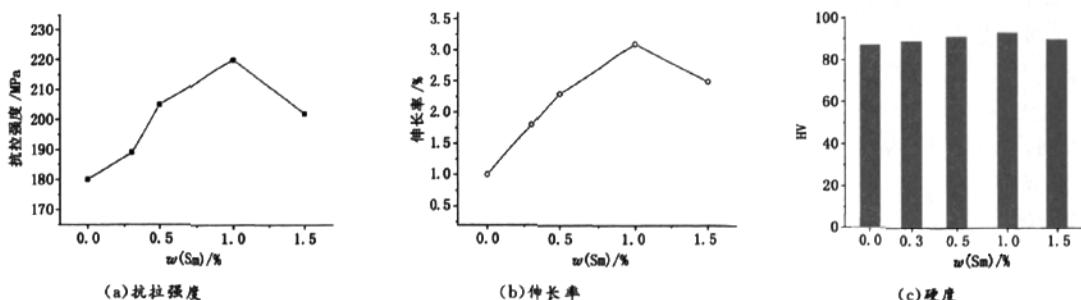


图 2 Sm 含量对 ADC12 合金力学性能影响

## 3 分析与讨论

### 3.1 Sm 对 ADC12 合金显微组织的影响

根据 Al-Sm 二元合金相图可知, 当 Sm 含量少时, 溶质平衡分配系数  $k_0 = C_S/C_L < 1$  ( $C_S$  和  $C_L$  分别为固

相和液相的平衡浓度)。因此合金凝固时, 合金的液相线温度降低, 元素 Sm 在非平衡凝固条件下存在正偏析, 凝固过程中易富集于固/液界面前沿, 造成合金一定区域内成分过冷, 促进形核, 并促使枝晶形成缩颈, 这样

就有利于枝晶熔断、游离,并使晶粒增殖从而使 $\alpha$ 相细化,同时,稀土 Sm 与铝可能形成金属间化合物,该化合物在合金凝固时可以起异质晶核的作用,催化 $\alpha$ 相形核细化晶粒<sup>[7,8]</sup>,当 Sm 含量较少时,其主要富集在晶界,晶内析出相中含量较低,因此存在于枝晶间的该化合物在一定程度也能机械地阻碍晶粒的长大,有利于晶粒的进一步细化。当 Sm 含量较大时,在晶内及晶界形成高 Sm 含量的较大尺寸的化合物,晶界变厚,Sm 在凝固前沿的成分过冷作用降低,晶粒细化作用减弱<sup>[9,10]</sup>。

另外,Al-Sm 中间合金的变质作用可以改变共晶硅的形貌,变质处理其实是变质剂使共晶硅从粗大的片状改变为细小纤维状的过程。未变质时,共晶硅以粗大针状形态出现,这将严重影响合金的力学性能,尤其是韧性。变质后,共晶硅变为短棒状、纤维状。稀土元素对共晶硅的变质机理比较复杂,有人从杂质产生孪晶观点出发提出稀土原子同硅晶体{111}面上内在台阶相互作用,使被吸附的稀土原子产生{111}孪晶,孪晶密度增加使硅的生长方式发生改变,阻碍了硅晶体沿{111}面铺开长大,抑制了板片状的硅生长。从而使板片状 Si 晶体变成分枝密集、而又相互交叉连接的纤维状共晶硅。未变质的共晶硅呈板片状,TPRE 生长机制很少起作用,而是固有台阶提供了原子堆积的有利条件,成长为板片状。变质元素的加入消除了硅晶体生长原子堆积的固有台阶,产生大量孪晶改变为以 TPRE 机制生长、出现高密度孪晶,择优方向为 $\langle 100 \rangle$ <sup>[11,12]</sup>,从而使共晶硅变为纤维状,且呈多面生长。

### 3.2 Sm 对 ADC12 合金力学性能的影响

在 ADC12 中加入适量(0.5%~1.0%)的稀土 Sm,其抗拉强度和伸长率均得到明显提高,并且随稀土含量增多,强化效果越明显,超过 1.0%时强化效果下降。分析认为 Sm 对合金性能的影响是以下机制共同作用的结果<sup>[13]</sup>。

#### 3.2.1 细晶强化

适量 Sm 加入 ADC12 合金后,组织得到均匀细化,晶粒尺寸的减少导致表面积和体积比的增加,从而表面张力增加,容易导致晶格畸变,增加变形阻力。从而显著提高合金的室温强度。另外,晶粒的细化使合金在提高强度的同时,合金伸长率也得到了较大的提高。晶粒越大,其强化效果越弱。这也可以解释当 Sm 含量过量时,因其组织粗大,力学性能相应下降的现象。

#### 3.2.2 异相强化

在含 Sm 的 ADC12 合金中,可能生成的含 Sm 相分布于基体和晶界上,在室温下拉伸变形时,成为位错滑移的障碍,阻止位错的运动(滑移和攀移)从而强化了合金。当 Sm 含量过多时,组织中可能生成团聚物,容

易造成应力集中,削弱其力学性能。

#### 3.2.3 固溶强化

稀土元素能够固溶在 $\alpha$ -Al 中<sup>[2]</sup>,且溶质原子与基体金属的原子尺寸相差越大,强化作用越好,由于 Sm 的原子半径与铝的原子半径( $R_{Sm} = 0.259 \text{ nm}$ ,  $R_{Al} = 0.143 \text{ nm}$ )相差较大,所以 Sm 对于铝具有较好的固溶强化效果。固溶强化是多方面作用的结果,主要有溶质原子与位错的化学交互作用、弹性交互作用和静电交互作用,以及当固溶体产生塑性变形时,位错运动改变了溶质原子在固溶体结构中以短程有序或偏聚形式存在的分布状态,从而引起系统能量的升高,由此也增加滑移变形的阻力。

## 4 结 论

(1)ADC12 中添加适量稀土 Sm 可明显细化合金晶粒,当添加 1.0%的 Sm 时,细化效果最明显,晶粒圆整度最好,此时晶粒尺寸约为 30  $\mu\text{m}$ 。含量达到 1.5%的 Sm 时,晶粒又变得粗大。

(2)Sm 添加量为 1.0%时对共晶硅细化效果最佳。当添加量为 1.5%时,共晶硅再次变粗大且均匀程度下降,变质效果减弱。

(3)当 Sm 添加 1.0%时,ADC12 合金抗拉强度能达到 220 MPa,伸长率也提高到 3.1%,与 ADC12 相比分别提高 22%、210%,具有良好的综合力学性能。

### 参 考 文 献

- [1] 宋仁国. 高强度铝合金的研究现状及发展趋势[J]. 材料导报, 2000, 4(1): 20-21.
- [2] 潘复生, 周守刚, 石功奇, 等. 我国稀土铝合金的研究和应用[J]. 轻合金加工技术, 1990(3): 1-12.
- [3] 宋东明, 陈越, 闫洪, 等. Al-10RE 中间合金生产的工艺选择[J]. 特种铸造及有色合金, 1998(4): 54-55.
- [4] 韩剑, 戴起勋, 李桂荣, 等. 稀土钇对 7055 铝合金铸态组织的影响[J]. 材料工程, 2009(4): 63-67.
- [5] 张向宇, 熊计, 赵国忠, 等. 稀土 La 对 6063 铝合金组织与时效性能的影响[J]. 有色金属, 2010, 62(1): 1-9.
- [6] 杨泽心, 高存贞, 谢敬佩, 等. La 对高铝锌合金组织和性能的影响[J]. 铸造, 2010, 59(12): 1 341-1 344.
- [7] 王莉梅. 稀土元素对某些铝合金组织和性能的影响[J]. 轻合金加工技术, 1994, 22(9): 37-41.
- [8] 陈云贵, 郭东华. 稀土在铝铸造合金中的作用[J]. 稀土, 1994, 15(5): 42-46.
- [9] 左秀荣, 李立祥, 孙海斌, 等. 稀土对铝合金微观组织的影响[J]. 铸造技术, 2007, 28(11): 1 473-1 476.
- [10] 孙海斌, 左秀荣, 仲志国, 等. RE 对细晶铝锭细化效果的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26(6): 381-383.
- [11] 王正军. Al-10Ce 中间合金制备及其变质效果研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2005.
- [12] 黄良余. 铝硅合金变质机理的新发展和新观点[J]. 特种铸造及有色合金, 1995(4): 30-32.
- [13] 李全安, 李克杰, 井晓天, 等. 稀土钇对 AZ61 合金组织和性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2010, 31(1): 100-104.

(编辑: 栗万仲)