

铸造 A356.2(Sc,La)铝合金研究

闫洪 张辉 杨祖贵

(昆明冶金研究院有限公司, 中铝集团中央研究院昆明分院, 昆明 650031)

文 摘 采用铸造工艺制备了 A356.2(Sc,La)铝合金,测试分析了稀土元素 Sc 和 La 对铝合金中共晶硅的细化作用及对合金力学性能的影响。结果表明,单独添加稀土元素 La 对 A356.2(La)铝合金中的共晶硅有一定的细化作用,但对力学性能改善作用不大。而含有两种稀土元素 0.38%Sc+0.14%La 的 A356.2(Sc,La)铝合金中的共晶硅细化作用较好和力学性能更高,其共晶硅细化到 2.3 μm,抗拉强度和伸长率分别达到 181.6 MPa 和 4.0%。稀土 Sc 和 La 对共晶硅的细化作用主要是弥散强化和细晶强化共同作用的结果,这两种强化与铝合金中析出的 Al₃Sc 相和稀土 La 相有关。

关键词 A356.2(Sc,La)铝合金,共晶硅,细化作用机制,显微组织,力学性能

中图分类号: TG146.2

DOI: 10.12044/j.issn.1007-2330.2022.03.008

Study on Casting A356.2(Sc,La) Aluminum Alloy

YAN Hong ZHANG Hui YANG Zugui

(Kunming Metallurgical Research Institute Co., Ltd,

Kunming Branch of Central Research Institute of Aluminum Corporation of China, Kunming 650031)

Abstract A356.2(Sc,La) aluminum alloy was prepared by casting process. The refining effect of rare earth elements Sc and La on eutectic silicon and mechanical properties of aluminum alloy was tested and analyzed. The results show that the addition of rare earth element La alone can refine eutectic silicon in A356.2(La) aluminum alloy to a certain extent, but has little effect on the improvement of mechanical properties. However, the eutectic silicon in A356.2(Sc,La) aluminum alloy containing 0.38% Sc and 0.14% La has better refining effect and higher mechanical properties, The eutectic silicon is refined to 2.3 μm and the tensile strength and elongation reached 181.6 MPa and 4.0% respectively. The refining effect of rare earth Sc and La on eutectic silicon is mainly the result of both dispersion strengthening and fine grain strengthening, which are related to the precipitation of Al₃Sc phase and rare earth La phase in aluminum alloy.

Key words A356.2(Sc,La) aluminum alloy, Eutectic silicon, Refine the mechanism of action, Microstructure, Mechanical property

0 引言

在铝合金中加入稀土元素,不仅具有变质处理的作用,而且还能提高力学性能^[1-2]。为了改善铝合金的使用性能,扩大其应用范围,通过稀土合金化技术对铝合金进行处理,取得了较好的效果。由于单独添加稀土 La 对铝合金的力学性能提高不大,而且 Sc 的成本较高,因此,通过两种稀土元素 Sc 和 La 的添加,不仅减少了 Sc 的加入量,降低成本,而且显著细化了共晶硅,使合金的力学性能得到较大提高。目前国内对稀土铝合金的研究主要集中在添加单一稀土方面^[3-8],而对添加两种稀土元素的铸造 A356.2(Sc,La)铝合金未见相关报道。本文通过加

入两种稀土元素 Sc 和 La,形成了铸造 A356.2(Sc,La)铝合金,并对其组织和力学性能进行分析,为优化工艺提供理论和试验依据。

1 实验

实验用材料为 A356.2 铝合金,稀土元素 Sc 和 La 分别以 Al-2.01%Sc 及 Al-9.62%La 中间合金的形式加入。将 A356.2 铝合金放入石墨坩埚电阻炉中,温度升到 740℃,待 A356.2 铝合金完全熔化后,扒渣,放入 Si 并搅拌熔体,然后升温到 790℃,加入 Al-9.62%La 中间合金,搅拌熔体 1 min,保温 15 min,降温到 740℃,加入 Al-1.98%Sc 中间合金进行熔化,搅拌熔体,使合金成分均匀,降温到 725℃,通入高纯氮

收稿日期:2020-09-17

基金项目:云南省社会发展科技计划—科研院所技术开发研究专项(2011CF009)

第一作者简介:闫洪,1961 年出生,正高级工程师,主要从事金属材料研究工作。E-mail: yan6230196@sina.com

气进行精炼,扒渣,静置后,浇入已经预热到310°C的铸铁模具中,取出试样,水淬,制备成A356. 2(Sc、La)铝合金,其化学成分见表1。试验中,稀土Sc含量0. 38wt%,稀土La含量0. 14wt%,并进行了对比试验。金相组织分析在AxioimagerA2m型研究级智能数字材料显微镜上进行,合金的抗拉强度和伸长率用CMT5105型电子万能试验机测定,采用Quanta 600型扫描电镜和Genesis型能谱仪进行显微观察和能谱分析,用EMPYREAN型X射线衍射仪对合金物相进行分析。

表1 铸造A356. 2(Sc、La)铝合金的化学成分

aluminum alloy						wt%
Si	Mg	Ti	Sc	La	Al	
6.89	0.24	0.15	0.38	0.14	余量	

2 结果及分析

2.1 铸造A356. 2(Sc、La)铝合金的相组成

由铝合金XRD分析测试结果(图1)可知,Al₃Sc相衍射峰很微弱,析出的Al₃Sc相比较细小,说明稀土La的添加阻止了Al₃Sc相的形成和析出。

2.2 稀土Sc和La对合金铸态显微组织的影响

由图2(a)可见,在未添加稀土元素时,铸造A356. 2铝合金中大部分共晶硅的形状是针片状,少

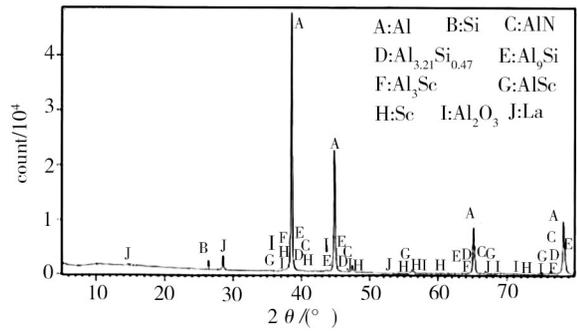


图1 铸造A356. 2(Sc、La)铝合金的XRD图谱

Fig. 1 XRD pattern of A356. 2 (Sc, La) aluminum alloy

数为块状,共晶硅的平均尺寸为13.6 μm,较为粗大。在合金中添加单一稀土0. 14%La后,铸造A356. 2(La)铝合金的共晶硅形貌得到改善,大部分共晶硅是块状,少数为条状,共晶硅得到细化,平均尺寸减小到6.3 μm[图2(b)]。图2(c)所示为添加两种稀土元素0. 38%Sc+0. 14%La的铸造A356. 2(Sc、La)铝合金的显微组织,此时共晶硅完全转变为均匀细小的颗粒状组织,平均尺寸仅为2.3 μm。这说明,在合金中单独添加稀土元素La有一定的共晶硅晶粒细化效果,但细化作用有限,而添加两种稀土元素Sc和La对共晶硅的细化作用更强烈。

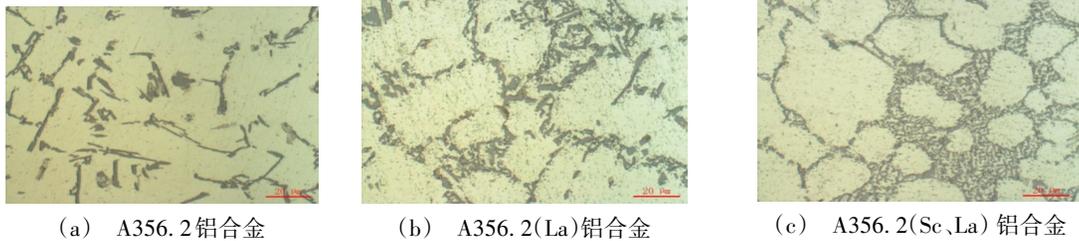


图2 铸造铝合金的显微组织1000×

Fig. 2 Microstructure of cast aluminum alloy

2.3 稀土元素Sc、La与合金力学性能及共晶硅的关系

稀土元素Sc和La对铸造A356. 2铝合金力学性能及共晶硅的影响见表2,可知,未添加稀土元素的铸造A356. 2铝合金的共晶硅平均尺寸13.6 μm,力学性能较差;添加0. 14%La后,形成的铸造A356. 2(La)合金的共晶硅平均尺寸降到6.3 μm,其抗拉强度和伸长率有所提高;而铸造A356. 2(Sc、La)合金的共晶硅细化到2.3 μm,抗拉强度和伸长率分别提高到181.62 MPa和4.0%,较添加铸造A356. 2(La)合金,细化效果更好,力学性能更高,所以稀土元素Sc和La对铸造铝合金的强化属于对共晶硅的细晶强化。Sc和La对共晶硅的细化作用机制是:(1)Al与Sc的结合形成了Al₃Sc相,Al₃Sc相和基体α-Al相的晶格类型和参数相近,可作为异质形核核心细化α-Al相的晶粒,Al₃Sc相在合金凝固时的异质晶核作用,增加了合金熔体中的形核数,从而细化α-Al相晶粒尺寸^[9],Sc对α-Al相的细化伴随着对共晶硅相的细

化,α-Al相细化和数量的增多造成各个方向阻力的增大,致使共晶硅难于长大,从而使共晶硅成为细小的颗粒状;(2)稀土La相与Si有较强的亲和力,它依附在Si相生长界面的前沿,阻止Si相的成长。

表2 铝合金的共晶硅尺寸和力学性能

Tab. 2 Eutectic silicon dimensions and mechanical properties of aluminum alloys

铝合金	Sc/wt%	La/wt%	共晶硅平均尺寸/μm	抗拉强度/MPa	伸长率/%
A356.2	0	0	13.6	136.22	1.8
A356.2(La)	0	0.14	6.3	148.84	2.3
A356.2(Sc、La)	0.38	0.14	2.3	181.62	4.0

2.4 合金中稀土元素Sc和La的分布

由图3中铸造A356. 2(Sc、La)铝合金的SEM微观组织可见,合金中分布着一些亮白色的第二相,为不规则的形状,通过图3(b)能谱分析可知,该亮白色第二相的化学成分为:68.88Al-24.52Si-0.32Sc-4.201La-2.08Mg,说明第二相与稀土Sc和La有关。

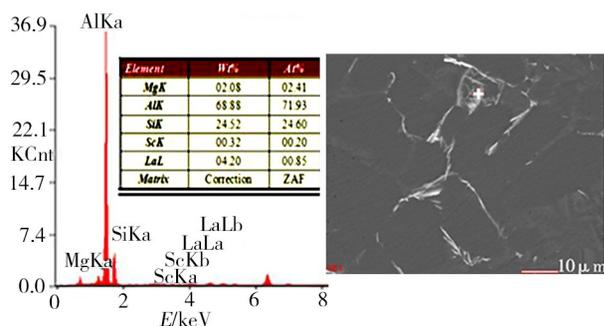
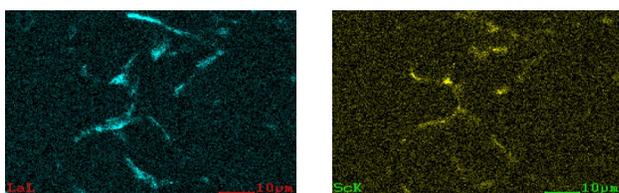


图3 铸造A356.2(Sc,La)铝合金的SEM图像和能谱分析
Fig. 3 SEM microstructure and energy spectrum analysis results of cast A356.2 (Sc, La)

为了解稀土Sc和La在铝合金中的分布,对铸造A356.2(Sc,La)铝合金的凝固组织进行了Sc和La元素的面扫描分析,结果见图4,可以看出,合金显微组织中出现了不同形状的Sc相和La相,分散分布,较为细小,其中,Sc相、La相的平均尺寸为3.5、4.5 μm。稀土元素Sc的形状差异较大,除部分固溶于α-Al相以外,还有一部分以第二相粒子Al₃Sc相的形式存在,分散分布于基体中,在铝合金中起到弥散强化的作用^[10]。总之,稀土Sc和La对铝合金的强化是弥散强化和细晶强化共同作用的结果。



(a) La元素的面分布 (b) Sc元素的面分布
图4 铸造A356.2(Sc,La)铝合金中稀土元素的面分布图像
Fig. 4 Areal distribution of rare earth elements in A356.2 (Sc, La) aluminum alloy

3 结论

(1) 添加两种稀土元素Sc和La的铸造A356.2(Sc,La)铝合金较单独添加一种稀土元素La的A356.2(La)铝合金有更好的共晶硅细化效果,能使共晶硅由原来平均尺寸为13.6 μm的粗大针片状向平均尺寸只有2.3 μm的细小颗粒状转变,共晶硅形貌得到明显改善。而单独添加一种稀土元素La只能将共晶硅细化到6.3 μm。

(2) 含有两种稀土元素Sc和La的A356.2(Sc,La)铝合金的抗拉强度和伸长率明显高于含有一种稀土元素La的A356.2(La)铝合金,铝合金的抗拉强度由136.22 MPa提高到181.62 MPa,伸长率由1.8%增加到4.0%,从而大大提升了铝合金的力学性能。而含有一种稀土元素La的A356.2(La)铝合金的抗拉强度和伸长率分别为148.84 MPa和2.3%,增加幅度较小。

(3) 稀土Sc和La在铸造A356.2(Sc,La)铝合金

中形成了Al₃Sc相、AlSc相、Sc相、La相等,分散分布于基体中,起到了弥散强化的作用,同时这些相阻止了共晶硅的长大,使共晶硅细化,形成细晶强化,在弥散强化和细晶强化的双重作用下,合金的力学性能显著提高。

参考文献

- [1] 胥锴,刘政,刘萍. 稀土在铝及铝合金中的应用现状及展望[J]. 有色金属加工,2005,34(5):10~14.
- [2] 周晓霞,张仁元,刘银崧. 稀土元素在铝合金中的作用和应用[J]. 新技术新工艺,2003(4):43~45.
- [3] 郑亚虹,李德成,李建国. 含钕铸造铝合金组织和力学性能的研究[J]. 铸造,2004,53(4):302~304.
- [4] 程和法,黄笑梅,黄吉,等. 钕变质处理对A356合金凝固组织和性能的影响[J]. 中国稀土学报,2016,34(3):327~333.
- [5] 高士学,孙跃军,高艳静. 稀土La对A356铝合金组织及硬度的影响[J]. 热加工工艺,2016,45(5):81~83.
- [6] 段海丽,张恒华,邵光杰,等. 镧对A356铝合金变质及其机制的研究[J]. 中国稀土学报,2005,23(增刊):95~98.
- [7] SUN Y Y, SONG M, HE Y H. Effects of Sc content on the mechanical properties of Al-Sc alloys[J]. Rare Metals, 2010, 29(5):451~455.
- [8] YI H K, ZHANG D. Modification effect of pure rare earth metal La on as-cast hypereutectic Al-17%Si alloys[J]. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2003, 13(2):358~364.
- [9] 何兵,覃铭,梁柳青,等. Sc含量对Al-Si铸造合金组织与力学性能的影响[J]. 铸造技术,2017,38(10):2360~2364.
- [10] HE B, QIN M, LIANG L Q, et al. Effect of Sc content on microstructure and mechanical properties of Al-Si cast alloy[J]. Foundry Technology, 2017, 38(10):2360~2364.
- [11] 黄佰成,周杰敏,段聪翀,等. 钕对高压泵用2A12铝合金组织与性能的影响[J]. 有色金属工程,2016,6(1):1~4.
- [12] HUANG B C, ZHOU J M, DUAN C C, et al. Effects of scandium addition on microstructure and mechanical properties of 2A12 aluminum alloy used in high pressure pump[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2016, 6(1):1~4.