DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.01.008

Al-10Sr 中间合金形态对 AlSi7Mg 合金变质组织的影响

周　斌,龚家林,黄宜俊
(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司,江苏 常州 213011)

摘　要:研究了不同成形方式的 Al-10Sr 中间合金(圆块状、长杆状)对 AlSi7Mg 合金变质效果及熔炼过程收得率的影响,并分析产生差异的原因,结果表明:采用圆杆状 Al-10Sr 变质的合金经热处理后(T6),AlSi7Mg 合金中 Si 相呈更加细小的、均匀的颗粒状分布。熔炼过程中发现,圆杆状中间合金在同样条件下的收得率要更高,平均收得率达 98.1%。

关键词:AlSi7Mg;Al-10Sr 中间合金;变质效果;锶收得率

中图分类号:TG146.2;TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)01-0034-03

Effect of Morphology of Al-10Sr Intermediate Alloy on Inoculation Microstructure of AlSi7Mg Alloy

ZHOU Bin, GONG Jialin, HUANG Yijun
(Crrc Qishuyan Iintitute Co., Ltd., Changzhou 213011, China)

Abstract: The inoculation effect and the yield of AlSi7Mg alloy by different forming methods of Al-10Sr intermediate alloy (cylindrical and rod-shaped) were studied, and the reasons for the differences were analyzed. The results show that the Si phase of AlSi7Mg alloy is more fine and uniform after heat treatment (T6) of the rod-shaped Al-10Sr alloy. In the melting process, it is found that the yield of circular rod-shaped intermediate alloy is higher under the same conditions, with the average yield reaching 98.1%.

Key words: AlSi7Mg; Al-10Sr master alloy; modification effect; Sr absorption

AlSi7Mg 合金的性能与组织中共晶 Si 的尺寸、形状及分布有着密切的关系,变质处理可以实现将共晶 Si 由长针形片状硅转变成纤维状,从而提高材料性能。生产中普遍采用加入 Al-10Sr 中间合金的方式对铝合金液进行变质处理,随着成型工艺的发展,Al-10Sr 合金也由原来单纯的浇注成型,发展为多种成型方式。本次试验比较了两种不同成型方式的 Al-10Sr 合金作为变质剂对 AlSi7Mg 组织的影响。两种形态分别为传统的浇注成型圆块状(ϕ30 mm×30 mm),以及通过挤压成型的长杆状(ϕ9.5 mm×330 mm)的 Al-10Sr 合金。

1　试验过程

试验采用中国铝业提供的 A356.2 预制铝合金锭作为原材料,在 600 kg 容量石墨坩埚中熔化,温度达到 750 ℃时采用旋转除气精炼铝液,除气结束前 5 min,按照 w(Sr)=0.35%的加入量,分别采用圆块状和长杆状 Al-10Sr 合金作变质处理。熔炼处理后静止 10 min,测得铝液温度至 700 ℃时,浇入呋喃树脂砂型试块中,冷却 6 h 后开箱取件,将试块进行 T6 热处理。在试块底部切开取样,经打磨、抛光、腐蚀后,用 Observer.A1m 型金相显微镜观察其显微组织。

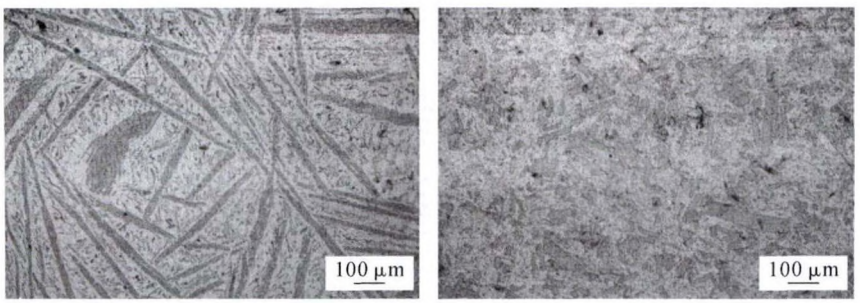
2　试验结果与讨论

2.1　Al-10Sr 合金的金相组织

图 1 为两种形态的 Al-10Sr 合金金相组织图,通过对图中块状物 EDS 分析表明(见图 2),深色块状物均为 Al4Sr。圆块状 Al-10Sr 的显微组织中(图 1a),Al4Sr 相呈长条状;长杆状 Al-10Sr 的显微组织中(图 1b),Al4Sr 相明显变小,成为短片状。由于 Sr 是以游离态发挥变质作用的,所以 Al4Sr 越细小,越容易析出游离态的 Sr,变质效果越好[1]。因此,长杆状 Al-10Sr 中 Al4Sr 短片状组织优于长条状组织,其变质能力也低于圆块状 Al-10Sr。

收稿日期:2018-09-18

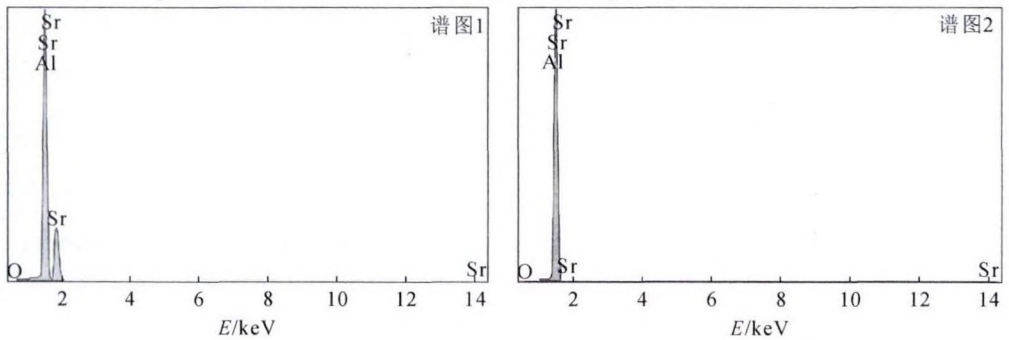
作者简介:周　斌(1979-),江苏常州人,本科.主要从事铝合金材料及铸造工艺的工作.电话:0519-89808363,E-mail:zhoubin@csrqsyri.com.cn



(a)圆块状　　(b)长杆状

图 1 不同状态 Al-10Sr 合金金相组织图

Fig.1 Microstructure of Al-10Sr intermediate alloy under different condition



(a)圆块状　　(b)长杆状

图 2 不同状态 Al-10Sr 合金 EDS 结果

Fig.2 EDS pattern of Al-10Sr intermediate alloy under different condition

2.2 合金的收得率

锶为碱土族无素，化学性质活泼，易与空气中氧或水反应，在其表面生成 SrO 和 $Sr(OH)_2$ 淡灰色粉末[2]。锶的减耗过程在铝液表面进行，它受到表面氧化膜状态的极大影响，当铝液表面的氧化膜不健全时，锶的减耗速度快[3]。两种合金在同等熔炼条件下，分别加入铝液中，比较两种合金中有效元素 Sr 的收得率见表 1。

从表中数据可以看出，圆块状 Al-10Sr 合金 Sr 的收得率低于长杆状。这是由于成型工艺的不同导致的区别，圆杆状 Al-10Sr 采用挤压成型方式，Sr 在铝基体中分布均匀，组织排列紧密，减少了 Sr 的氧化烧损；圆块状 Al-10Sr 合金采用直接浇注成型，组织排列不紧密，基体中第二相组织呈粗大针状，且夹杂着未排除的气孔[4]。

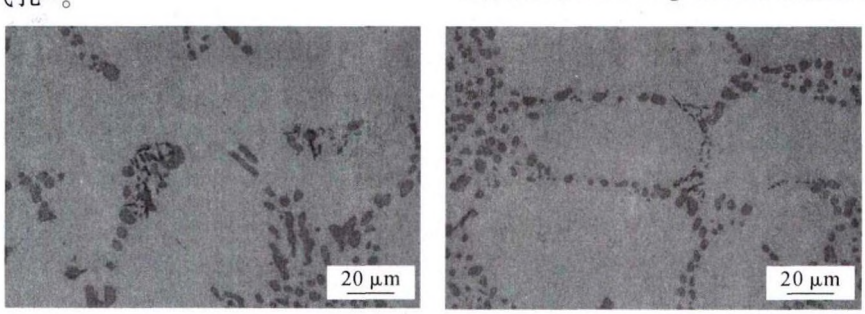
表1 不同状态Al–10Sr合金收得率

Tab1. Sr absorption of Al–10Sr intermediate alloy under different condition

合金状态	理论 Sr 加入量(%)	实际 Sr 含量 (%)	收得率 (%)	平均值 (%)
圆块状 Al-10Sr 合金	0.034	0.029	85.29	87.0
	0.035	0.031	88.57	
	0.039	0.034	87.18	
长杆状 Al-10Sr 合金	0.037	0.036	97.29	98.1
	0.034	0.033	97.06	
	0.033	0.033	100.00	

2.3 变质效果比较

在 Al-Si 系合金中随着 Sr 的加入，共晶硅的形貌变化为由板片状变成针片状和纤维状，然后变成纤维状，此时达到较好的变质效果[5]。两种 Al-10Sr 变质后的 AlSi7Mg 合金金相组织见图 3 所示。从图



(a)圆块状　　(b)长杆状

图 3 不同状态 Al-10Sr 变质后的 AlSi7Mg 合金金相组织图

Fig.3 Microstructure of AlSi7Mg alloy inoculation with Al-10Sr under different condition

（下转第 39 页）

心失去活性,从而进一步保证了晶粒细化的效果。

通过以上对铸造温度、铸造速度、冷却水流量、晶粒细化剂选择、送丝速率以及电磁搅拌等生产工艺参数的改进,得到的 7N01 铝合金圆锭低倍组织如图 5。由图可知,改进工艺后的铸锭样品中未发现羽毛晶缺陷,测得低倍晶粒度为 2 级,比原来的羽毛晶低倍样品中的正常等轴晶的 3 级低倍晶粒度(图 1)小 1 级,故通过以上生产工艺的改进和相互配合,既消除了羽毛晶缺陷,又有效地细化了铸锭的晶粒。

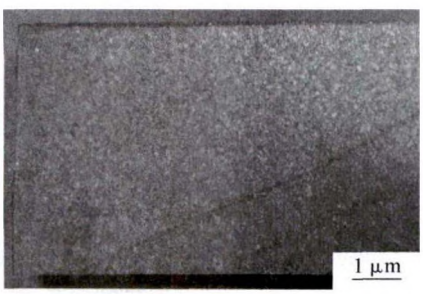


图 5 工艺改进后 7N01 铝合金圆锭的低倍组织形貌

Fig.5 Macrostructure of 7N01 aluminum alloy round ingot after process improvement

4 结论

(1)7N01 铝合金圆锭的羽毛晶缺陷呈丛生长条晶区交错分布,且长条状晶近似平行,是柱状晶的变种,在铸造过程中的整体宏观热流方向复杂,局部微观热流方向基本一致。此外,羽毛晶晶粒粗大,晶粒细化元素分布不均匀。

(2)结晶前沿温度梯度大和结晶核心少是造成晶粒取向长大形成羽毛晶的主要原因。

(3)通过优化生产工艺参数,消除了 ϕ586 mm 7N01 铝合金圆锭的羽毛晶缺陷,并将铸锭低倍晶粒度由 3 级细化为 2 级,优化后的生产工艺参数为铸造温度 690~700 ℃、冷却水流量 20 $m^3 \cdot h^{-1}$、铸造速度 30~35 $mm \cdot min^{-1}$、使用的 AlTi5B1 晶粒细化剂中的 $TiAl_3$ 粒子平均尺寸为 25.4 μm,TiB_2 粒子的最大团聚尺寸为 7.8 μm,送丝速率为 135 $cm \cdot min^{-1}$,电磁搅拌时间为 30 min。

参考文献:

[1] 周文标,覃珊,谢尚昇,等. 7N01 铝合金时效析出行为及其对性能的影响[J]. 轻合金加工技术,2014,42(4):60-64.

[2] 李学朝. 铝合金材料组织与金相图谱[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[3] 左玉波,赵志浩,朱庆丰,等. 低频电磁铸造对 7050 铝合金羽毛晶组织缺陷的影响[J]. 铸造技术,2007,28(5):649-652.

[4] 李永春. 7A19 铝合金熔铸工艺及消除羽毛状晶缺陷的研究[J]. 轻合金加工技术,2004,32(3):16-19.

[5] 陈亚军,许庆彦,黄天佑. Al-Ti-B 中间合金微观组织的形成与演变[J]. 清华大学学报(自然科学版),2006,46(11):1809-1812.

(上接第 35 页)

上可以看出,经过变质后的 AlSi7Mg 合金显微组织中共晶硅呈纤维状,不存在粗大针、片状初生硅,说明两种 Al-10Sr 合金均变质效果良好。但比较两图,发现图 3(a)中以粒状共晶硅为主,但仍然存在少部分细片状硅;而图 3(b)中显微组织未见片状硅,粒状共晶硅比例更多,弥散分布在基体中。根据图中金相组织比较,长杆状 Al-10Sr 对 AlSi7Mg 的变质效果更好。

3 结论

(1)比较两种形态的 Al-10Sr 合金的显微组织,圆块状中 Al4Sr 相呈长条状,而长杆状中 Al4Sr 相以短片状存在。

(2)两种形态的 Al-10Sr 合金在加入铝液中,比较有效元素 Sr 的收得率,圆块状低于长杆状。

(3)经圆块状 Al-10Sr 变质后的 AlSi7Mg 合金中共晶硅以粒状为主,存在少部分细片状硅。长杆状 Al-10Sr 变质后 AlSi7Mg 合金中粒状共晶硅比例增多,并弥散分布在基体中。

参考文献:

[1] 李娅珍,王士贺,赵维民,等. 不同状态中间合金对 A356 合金组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2009,29(9):863-867.

[2] 王顺成,陈彦博,温景林. 变质剂 Al-Sr 中间合金的制备及其变质效果[J]. 轻合金加工技术,2003,31(1):4-6.

[3] 潘增源, 杜士良. 锶在 Al-Si-Mg 合金中的吸气特性与减耗规律[J]. 特种铸造及有色合金,1997,17(6):46-48.

[4] 高银, 赵建祥, 胡骐, 等. 不同成形方式的 AlSr10 变质剂对 ZL101 铝合金变质效果的研究 [J]. 轻合金加工技术,2015,43(5):18-22.

[5] 胥锴,刘徽平,王甫,等. Sr 变质对 ZL101 合金中共晶 Si 形貌的影响[J]. 铸造技术,2009,30(5):646-649.