DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.10.004

变质处理及亚快速凝固对 Al-7Si 合金组织的影响

程远达,赵玉华,满佳乐,罗王涛,曾乔松
(沈阳航空航天大学 材料科学与工程学院,辽宁 沈阳 110000)

摘　要:通过改变冷却速度及变质处理变质剂的含量对比研究变质处理及亚快速凝固对 Al-7Si 合金组织的影响。结果表明,亚快速凝固状态下的 Al-7Si 合金组织得到细化;亚快速凝固条件下,0.02%Sr 变质处理效果最佳。

关键词:变质处理;亚快速凝固;Al-7Si 合金;变质剂

中图分类号:TG244　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)10-1039-03

Effects of Modification and Sub-rapid Solidification on the Microstructure of Al-7Si Alloy

CHENG Yuanda, ZHAO Yuhua, MAN Jiale, LUO Wangtao, ZENG Qiaosong
(School of Materials Science and Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110000, China)

Abstract: The effects of modification and sub-rapid solidification on the microstructure of Al-7Si alloy were studied by changing the cooling rate and the content of the modifier. The results show that the microstructure of Al-7Si alloy is refined under sub-rapid solidification. Under the condition of sub-rapid solidification, the best modification effect was 0.02%Sr.

Key words: modification process; sub-rapid solidification; Al-7Si alloy; inoculant

Al-Si 合金具有密度小、流动性好、收缩率小、气密性好、热稳定性好等诸多优点[1],其优良的铸造性能在航空及汽车工业有很大应用前景,但 Si 在合金中以粗大、不规则块状初晶硅与针状共晶硅的形式存在,使得合金的脆性变大、结晶温度范围变宽、铸造性能差且难以切削加工[2]。

亚快速凝固的冷却速率为 10^0~10^3 K/s,介于快速凝固和近平衡凝固之间,兼有快速凝固和近平衡凝固的优点[3]。利用亚快速凝固技术,可以使 Al-7Si 合金的显微组织发生变化,α-Al 呈细胞状和树枝状,α-Al 形貌发生改变,Si 相变细,无粗大针状 Si 出现。Sr 被广泛用于共晶硅的变质处理,它可以有效地将粗大的硅相转变为细小的纤维状或者分枝,增强力学性能[4]。本实验通过采用不同冷却速度及不同含量的变质剂 Sr 对 Al-7Si 合金进行变质处理,探究变质处理及冷却速度在不同条件下对 Al-7Si 合金组织的影响。

收稿日期:2019-06-19
基金项目:2018 年沈阳航空航天大学大学生创新创业训练计划项目资助(201810143021)
作者简介:程远达(1998-),河南新乡人,本科生.研究方向:高性能轻合金及凝固技术.电话:13252807217,E-mail:zhaoyuhua2010@sau.edu.cn

1　实验材料及方法

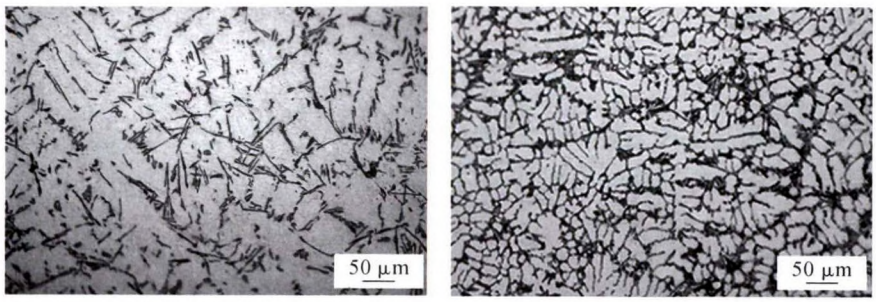
以工业纯 Al(99.7%下同)、工业纯 Si(99.8%下同)采用低温加硅工艺(硅块粒度 ϕ10 mm,预热温度 210 ℃,预热时间 30 min)使用功率为 5 kW 的电阻坩埚炉在 750 ℃下熔炼 Al-7Si 合金,使用Al-20Sr 中间合金进行变质处理,C_2Cl_6 精炼,在 480 ℃下保温凝固工艺合金。选取凝固工艺合金的铸态、最佳热处理态、最佳变质处理态试样,抛光后经自制电解液腐蚀,采用 OLYMPUS GX71 光学显微镜进行金相组织观察。

2　实验结果

图 1 是未变质处理在不同冷却速度下的 Al-7Si 合金显微组织照片。

由图 1 可见,在未经变质处理的 Al-7Si 合金的显微组织由白色基底和针状不规则片状黑色区域组成,其中,白色的铝基体塑性较好,但由于黑色的针状组织及不规则的片状组织割裂基体,使合金的性能大幅度下降。合金在 800 K/s 的冷却速度下凝固,显微组织细化,同时,提高了合金元素的固溶度,使 Si 元素分布更均匀,减少了成分偏析,合金成分更均匀。

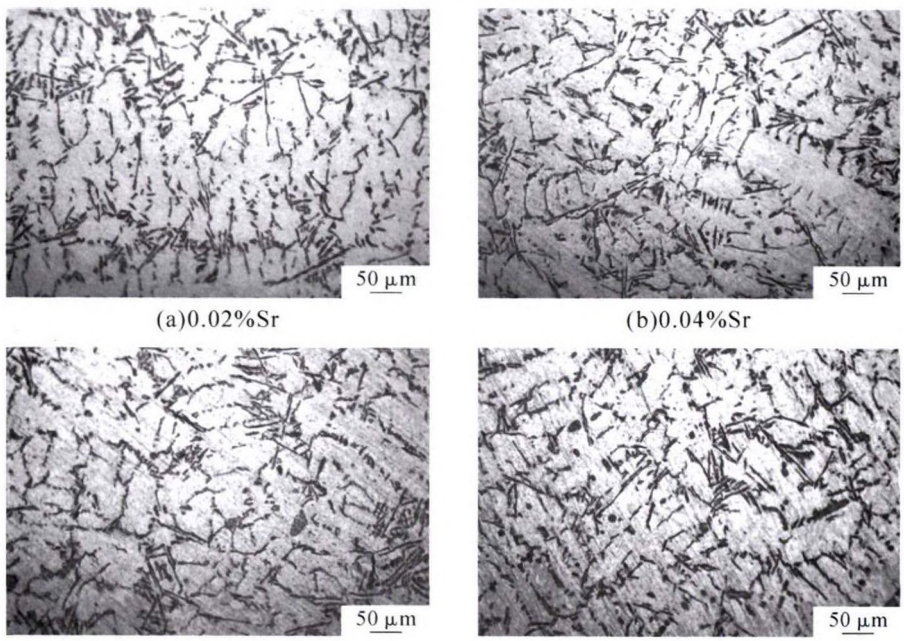
图 2 是变质处理冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金显微组织图片。



(a)冷却速度为25 K/s　　(b)冷却速度为800 K/s

图 1 未变质处理不同冷却速度下的 Al-7Si 合金显微组织

Fig.1 The microstructure of Al-7Si alloy with different cooling rate unmodified treatment



(a)0.02%Sr　　(b)0.04%Sr

(c)0.06%Sr　　(d)0.08%Sr

图 2 变质处理冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金显微组织

Fig.2 The modification microstructure of Al-7Si alloy with cooling speed of 25 K/s

由图 2 可见,向冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金中分别添加质量分数为 0.02%、0.04%、0.06%、0.08%的 Sr 后,因为所添加的变质剂含量较少,导致变质不足使合金的组织形貌变化不大,α-Al 呈粗大的枝状,Si 呈针状。

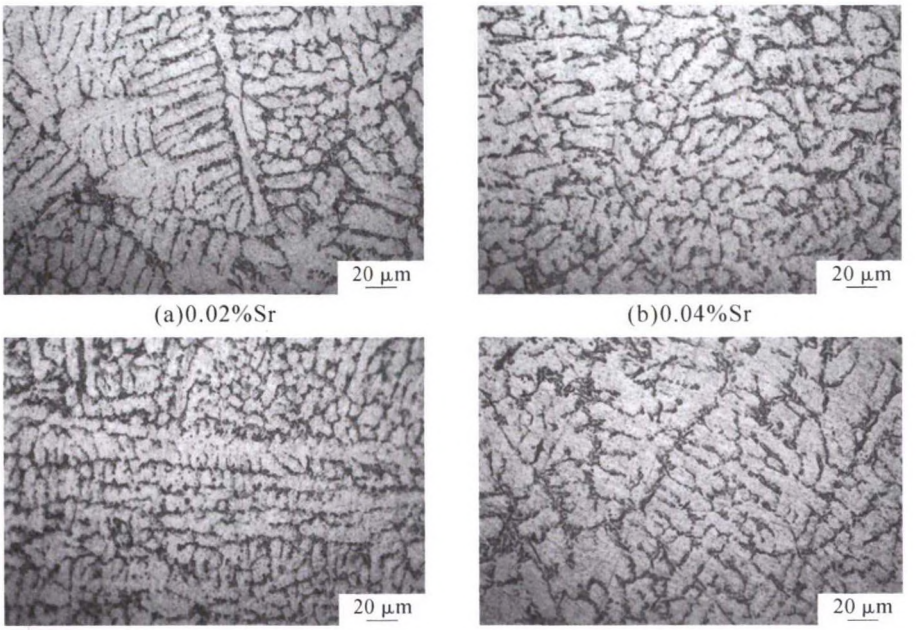
图 3 是变质处理冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 合金显微组织图片。

由图 3 可见,向冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 合金添加 Sr 后,团絮状组织中的针状和条状 Si 开始变得圆润,颗粒状 Si 数量增多,相比未经变质处理的合金组织,板条状 Si 组织比例明显下降,细针状共晶硅数量减少,针状和不规则片状的 Si 组织转变为大量紧密相连的粒状共晶硅。其变质效果受变质剂含量影响,且有一定的冷却速度敏感性。由图 3 可见,添加 0.02%变质剂,在冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 合金变质效果良好。可见,亚快速凝固 Al-7Si 合金进行变质处理的变质剂所需的含量较少,并且变质效果较为明显。

3 实验结果分析

未经变质处理的 Al-7Si 合金的显微组织由白色基底和针状不规则片状黑色区域组成,塑性较好的铝基体被粗大的针状 Si 组织割裂,冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金的 Si 元素基本位于针状鱼骨状 Si 处,成分偏析较为严重,合金的性能将大幅度下降,粗大的针状 Si 使未经变质处理的 Al-7Si 合金的力学性能局限性很大。

同样未经过变质处理,冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 合金相对于冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金,其 α-Al 和 Si 得到细化,改变了共晶硅的形貌。这是由于熔体冷却速度较快,熔体的凝固速度提高,使 α-Al 在较短时间凝固,阻碍其生长,得到细化。同时,亚快速凝固提高了合金元素的固溶度,使 Si 元素分布更均匀,减少了成分偏析,合金成分更均匀。随着冷却速度的提高,Si 的形状仍为针状,但尺寸更加细小[5],将使合金的力学性能得到优化。



(a)0.02%Sr　(b)0.04%Sr　(c)0.06%Sr　(d)0.08%Sr

图 3 变质处理冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 高倍金相图片

Fig.3 The modification microstructure of Al-7Si alloy with cooling speed of 800 K/s

在合金熔炼时加入变质剂 Sr，使液态合金的性质发生了很大的改变。枝晶前沿的生长过冷度增加，使枝晶 α 固液界面能大幅度降低，抑制液相中等轴晶的形核，从而促进枝晶 α 柱状化生长并导致枝晶数量的增加[6]。由于合金组织中原来存在粗大的针状 Si 组织形貌发生改变，呈团絮状分布于树枝状 α-Al 的晶界上，其组织细小，Sr 更利于附着在 Si 生长界面前沿，阻碍其生长，使 Si 发生钝化，产生数量较多的颗粒状 Si。颗粒状的硅在基体中均匀分布，可以改善合金受力时内部应力集中的状态，使合金的力学性能大幅度提高，应用限制大大降低。

冷却速度为 25 K/s 的 Al-7Si 合金由于添加的变质剂较少，导致变质不足，合金的组织形貌变化不大；而冷却速度为 800 K/s 的 Al-7Si 合金在添加相同含量的变质剂后，合金组织形貌有非常明显的变化，可见亚快速凝固的 Al-7Si 合金所需变质剂含量较少，在添加质量分数为 0.02%的 Sr 后，便达到较好变质处理效果。

4 结论

(1)随着冷却速度的提高，Al-7Si 合金组织得到细化，α-Al 形貌发生改变，无粗大针状鱼骨状 Si 出现，减少了成分偏析，合金成分更加均匀。

(2)变质效果受变质剂含量影响，且有一定的冷却速度敏感性。亚快速凝固的 Al-7Si 合金所需变质剂含量较少，在添加质量分数为 0.02%的 Sr 后，针状 Si 组织呈团絮状分布，达到较好变质处理效果。

参考文献：

[1] 王恩东，王磊. 稀土复合变质处理对 Al-Si 合金性能的影响[J]. 铸造技术，2016，37(8):1690-1692.

[2] 孔凡校. P、Sr、RE 变质对过共晶 Al-Si 合金组织形态的影响[J]. 有色金属(冶炼部分)，2011(12):46-49.

[3] 黄高仁，孙乙萌，张利，等. Mg 含量对亚快速凝固 Al-Zn-Mg-Cu-Zr 合金组织与性能的影响[J]. 材料工程，2018，46(9):109-114.

[4] 黄良余，王玉琮，翟春泉，等. Al-Si 合金加 Sr 和加 Sb 变质的研究[J]. 金属学报，1986(4):32-38，147-148.

[5] 张阳阳. 不同状态 Al-10Sr 变质剂及冷却速度对 ZL114A 合金组织与性能的影响[D]. 吉林：吉林大学，2016.

[6] 万辉，李小松，李铁林，等. Sr、B 和 RE 复合变质对 Al-30Si 合金组织和性能的影响[J]. 铸造技术，2019，40(2):186-189.

杭州文特机电有限公司

热处理炉、加热炉、工业自动化工程、环保节能工程、机电设备的设计、制造、加工、安装、技术开发、技术咨询、技术服务。工业自动化设备、仪器仪表、工业炉窑配件、计算机等的生产、批发、零售。

地址：杭州市西湖区万塘路 262 号 6 号楼 5-65 室
厂址：长兴县林城镇午山岗开发区
联系人：丁为兵
电话：15088362822
传真：0572-6087688
邮箱：dwb150@163.com