

ZL104合金Sr变质效果的热分析研究

徐小林¹, 牟宜华¹, 李孙博², 赵忠兴²

¹重庆衡山机械有限责任公司, 重庆

²沈阳理工大学, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2021年10月12日; 录用日期: 2021年11月11日; 发布日期: 2021年11月18日

摘要

本文使用了一种自主研发的适用于在线检测的热分析技术来研究ZL104铝硅合金的Sr变质效果, 通过金相显微镜观察合金试样的共晶组织与用热分析技术所获得的数据进行比较。通过试验分析, 变质保温时间延长, ΔT_{ER} 也逐渐增大, 变质效果也越来越好, 变质程度和热分析参数 ΔT_{ER} 之间有着良好的对应关系。因此, 使用热分析技术可以更方便, 更有效地判断铝硅合金的变质效果等级, 而无须通过观察金相组织来完成, 在生产实践中大大节省了时间。

关键词

铝硅合金, 变质, 热分析, 冷却曲线, 共晶温度

Thermal Analysis of Sr Modification Effect of ZL104 Alloy

Xiaolin Xu¹, Yihua Mu¹, Sunbo Li², Zhongxing Zhao²

¹Chongqing Hengshan Machinery Co., Ltd., Chongqing

²Shenyang Ligong University, Shenyang Liaoning

Received: Oct. 12th, 2021; accepted: Nov. 11th, 2021; published: Nov. 18th, 2021

Abstract

In this paper, a self-developed thermal analysis technology suitable for online detection is used to study the Sr modification effect of ZL104 aluminum-silicon alloy. The eutectic structure of the alloy sample is observed through a metallographic microscope and compared with the data obtained by thermal analysis technology. Through the test analysis, with the extension of the modification and holding time, the ΔT_{ER} is gradually increasing, and the modification effect is getting better and better. There is a good corresponding relationship between the degree of modification and the ther-

mal analysis parameter ΔT_{ER} . Therefore, the use of thermal analysis technology can be more convenient and effective to judge the modification effect level of aluminum-silicon alloy, without the need to observe the metallographic structure and other complicated and time-consuming processes to judge, which greatly saves time in production practice.

Keywords

Al-Si Alloy, Modification, Thermal Analysis, Cooling Curve, Eutectic Temperature

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在工业上, 铝硅合金是应用最广泛的铸造铝合金, 具有轻质量, 较高的比强度, 而且不易被腐蚀, 还具有良好的铸造性能等优点, 广泛应用于航空、机械工业中[1]。然而, 在自然状态下铝硅合金的共晶硅组织呈现的是粗片状形态, 这个缺点严重割裂铝硅合金基体, 从而影响了其力学性能[2] [3], 导致铝硅合金在生活和工业上达不到人们预期的要求。

铝硅合金经过大量研究后发现, 向合金中添加变质元素对其进行变质处理, 能够显著地改善共晶硅组织, 进而提高合金的性能, 以此达到人们的期许, 在各种领域上更好地发挥其应有的作用。向熔体中只添加微量变质剂就可以使得铝硅合金的共晶组织发生变化, 力学性能如抗拉强度和伸长率也可以得到显著改善[4] [5]。锆作为铝硅合金中最常用的变质剂, 有着操作简便、长效性、无腐蚀性、无污染等优点, 得到广泛的应用[6]。通过向铝硅合金中添加锆进行变质, 锆变质有一段潜伏期, 不能即时获得, 需要一定时间进行反应。在变质过程中很难判断铝硅合金的变质效果, 用于控制熔体处理质量和确定其他元素的最佳浓度的金相技术非常耗时, 而且其结果与选择的样品和制备条件有关系。光谱化学分析方法需要进行大量的准备, 耗费了较长时间, 而且对外界环境和合金材料有着比较严格的要求。工作人员的经验对测量结果有着较大的影响。热分析技术在运用中不会对设备产生不利影响, 热分析技术是通过合金冷却过程中发生的所有变化(凝固和固相转变)都涉及热量的释放和吸收, 进而使合金样品中温度变化的连续性遭到破坏并显示特征值, 在加热或冷却曲线上形成“弯曲点”或“平台”。所以, 根据冷却(或加热)曲线, 可以确定合金的相变温度和相变特性, 并可以确定其成分, 组织和性能特征[7]。热分析仪有使用方便且价格低廉, 可以迅速得到检测效果, 结果精确等优点, 在实践中备受人们欢迎。因此, 本文采用热分析技术对铝硅合金进行检测试验, 采用锆变质观察铝硅合金的变质效果等级。

2. 试验材料及方法

2.1. 试验原料及装置

本文所研究的 ZL104 合金, 合金主要成分为 Si: 8.0%~10.5%、Mn: 0.2%~0.5%、Mg: 0.17%~0.35%、Al: 余量。

本试验的试验装置主要是热分析仪、石墨坩埚、坩埚电阻炉、抛光机、金相显微镜以及其他辅助工具。自主研发的热分析仪, 如图 1 所示。该热分析系统主要是由两个部分组成: 硬件和软件。硬件结构包括用于热分析研究的金属型样杯、热电偶、冷端补偿和信号放大电路、PLC 模块、触屏。热分析

系统软件由几个模块组成。包括文件服务，绘图，数据处理，数据收集和特征值识别。



Figure 1. Thermal analyzer

图 1. 热分析仪

2.2. 试验方法

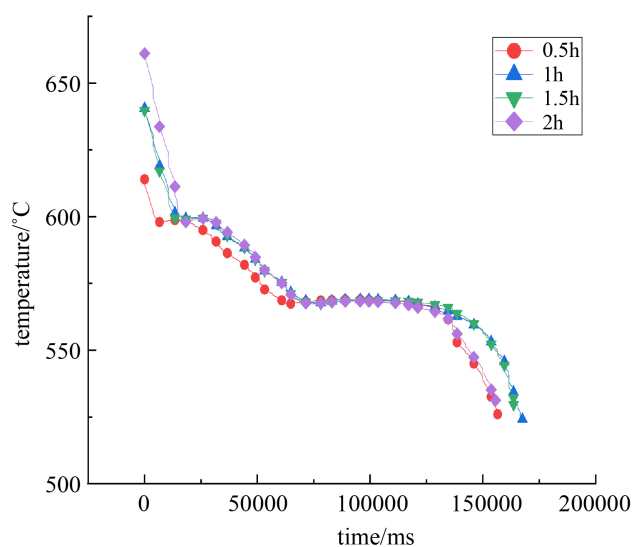
把配制好的 ZL104 合金放入坩埚电阻炉中，升温到 710℃，合金熔化完全后升温到 730℃后将 Al-10%Sr 中间合金放入熔体中，并搅拌大约 15 s，使得 Sr 在熔体中分布均匀。然后在 720~730℃下进行保温，并浇注到金属型样杯中，进行数据收集，并观察金相组织，利用 origin 软件画出热分析曲线，进行分析，通过特征值来判断铝合金变质效果的好坏[8] [9]。

3. 试验结果与分析

3.1. 保温时间不同对合金冷却曲线的影响

通过控制变质剂含量，在加 Sr 0.02%和 0.04%的条件下，在不同保温时间时往样杯中浇注试样，观察曲线变化及金相组织。

图 2(a)中的曲线表示 ZL104 合金中 Sr 含量为 0.02%时的冷却曲线。图 2(b)中的曲线表示 ZL104 合金中 Sr 含量为 0.04%时的冷却曲线。试验数据如表 1 所示。



(a) 0.02% Sr

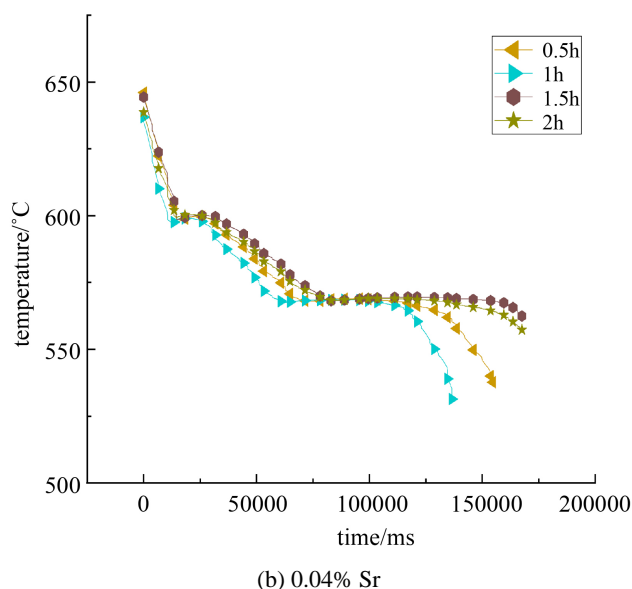


Figure 2. Thermal analysis diagram of cooling curve
图 2. 冷却曲线热分析图

Table 1. Influence of Sr addition time and amount on ΔT_{ER}

表 1. Sr 加入时间及加入量对 ΔT_{ER} 的影响

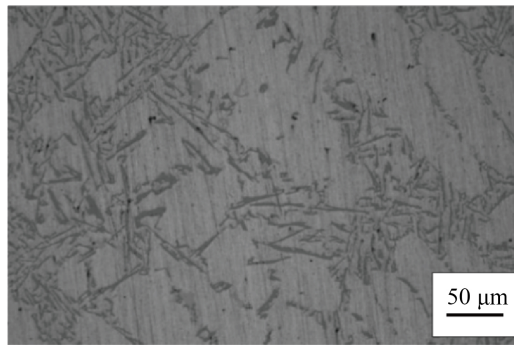
Sr 加入量	Sr 加入后时间	ΔT_{ER} (°C)
0.02% Sr	小于 5 min	1.2
0.02% Sr	0.5 h	7.4
0.02% Sr	1 h	7.8
0.02% Sr	2 h	8.0
0.04% Sr	0.5 h	7.7
0.04% Sr	2 h	7.2

从表 1 和图 2 中可以看出, 在加入 Sr 后的十几分钟内, 变质效果不明显, 但在 0.5 h 后变质效果明显, 随着保温时间的延长, 温度变化只有微小的浮动, 变化并不明显。在 Sr 含量为 0.02% 时, 随着保温时间的延长, 特征值 ΔT_{ER} 在不断增大, 变质效果良好。

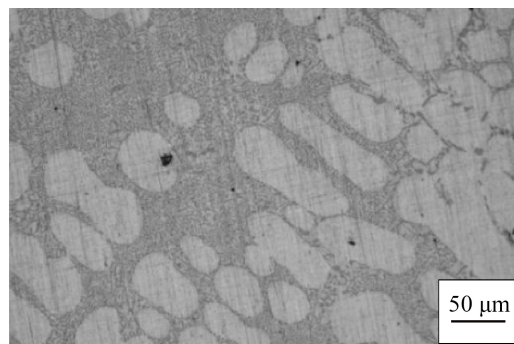
3.2. 保温时间不同对合金金相组织的影响

为了进一步验证合金不同条件下的变质效果, 分析所制得试样的金相组织, 与合金的冷却曲线对比分析, 含 Sr 0.02% 不同时刻试样的金相组织如图 3 所示, 含 Sr 0.04% 不同时刻试样的金相组织如图 4 所示。

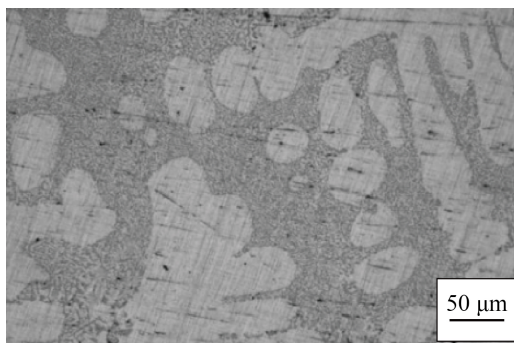
图 3 为 Sr 含量为 0.02% 时的金相组织。图 3(a) 为加 Sr 后马上浇注试样(保温 0 h 时)的合金金相组织, 共晶硅为小长条形片状的形态, 没有变质效果; 图 3(b) 为保温 0.5 h 后的合金金相组织, 共晶硅得到了很好的变质效果, 其形态为细小的颗粒状。图 3(c) 为保温 2 h 时的合金金相组织, 变质效果与图 3(b) 相差不多, 并无明显变化。试验结果表明, 在 Sr 含量 0.02% 时, 加入合金 Sr 以后半个小时就达到了较好的变质效果, 随着保温时间的延长, 变质效果保持较好。



(a) 加 Sr 0.02%后小于 5 min



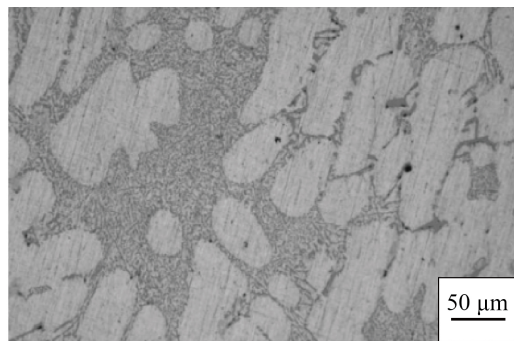
(b) 加 Sr 0.02%后 0.5 h



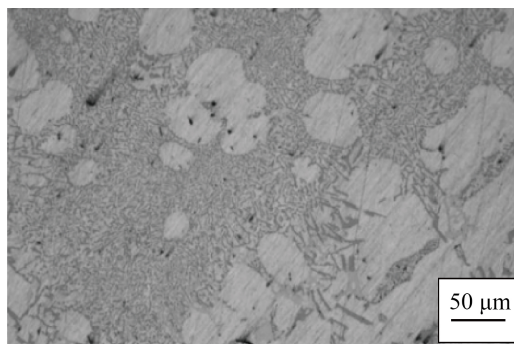
(c) 加 Sr 0.02%后 2 h

Figure 3. Effect of holding time on structure 0.02% of Al-Si alloy

图 3. 保温时间对加 Sr 0.02%合金组织的影响



(a) 加 Sr 0.04%后 0.5 h



(b) 加 Sr 0.04% 后 2 h

Figure 4. Effect of modifier content on eutectic structure 0.04% of Al-Si alloy**图 4.** 保温时间对加 Sr 0.04% 合金组织的影响

图 4(a) 为保温 0.5 h 时, 合金中 Sr 含量为 0.04% 时的金相组织图。图 4(b) 为保温 2 h 时, 合金中 Sr 含量为 0.04% 时的金相组织图。

从表 1 中可以看出, 当加入不同含量的 Sr 时, 温度差值并不大, 曲线变化不明显。说明对变质效果影响并不大。随着 Sr 含量的增加, 增加到 0.04% 时, 特征值 ΔT_{ER} 的变化不是十分明显, 变质效果好。

从金相组织图可以看出, 图 3(b) 与图 4(a) 相比下, 保温时间为 0.5 h 时, 不同 Sr 含量的合金变质效果差别不大, 无明显变化, 形态为细小的颗粒状。图 3(c) 与图 4(b) 相比下, 保温时间为 2 h 时, 不同 Sr 含量的合金变质效果差别不大, 无明显变化。

从以上的试验结果分析, Sr 加入量增加并没有显著增加合金的变质效果, 产生这种结果的原因可能与 Sr 的烧损和试样的冷却速度等因素有关。试验所采用的坩埚较小(10 kg 容量), 在 Sr 加入量增加时, Sr 的烧损也可能增加; 试样浇杯壁厚很薄(1 mm), 使试样的冷却速度降低, 影响了合金的变质效果。

4. 结论

(1) 变质元素 Sr 对 ZL104 合金中的共晶硅组织有着显著的变质作用, 当添加含量为 0.02% 的 Sr, 变质剂 Sr 的保温时间从 0 h, 0.5 h, 1 h 到 2 h, 共晶硅的形态从小片状慢慢转变为细小且分布均匀的纤维状。

(2) Sr 的加入量对 ZL104 合金冷却曲线影响不大, 温度变化不明显。在金相组织图中可以看出, 当保温时间一定, 变质剂含量不同对变质效果并不明显。

(3) 通过对比金相组织和热分析曲线, 热分析仪能够快速准确地得出浇注前 Sr 变质的结果。

参考文献

- [1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第 3 卷)铸造非铁合金[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 144-152.
- [2] 姜锡博. 变质处理对亚共晶 Al-Si 合金组织及性能影响[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2015.
- [3] 方立高, 潘美满. 铝硅合金变质效果的快速检测试验[J]. 山东冶金, 2014, 36(6): 44-45+53.
- [4] 王锋, 迟长志, 台立民, 马盛尧, 孙凯. 铝硅合金变质处理研究现状[J]. 热加工工艺, 2016, 45(11): 9-10+13.
- [5] 张明昌. 铝硅合金变质剂的制备及变质效果的研究[D]: [硕士学位论文]. 锦州: 辽宁工业大学, 2016.
- [6] 李培杰, 曾大本, 贾均. Sr 和 Na 在 Al-Si 合金中的变质行为及机理的研究[J]. 机械工程学报, 2002, 36(2): 81-84.
- [7] 李言祥, 胡晓. 冷却曲线人工智能识别与新一代铸造合金熔体质量评估技术[J]. 铸造, 1999(7): 4-6.
- [8] Tenekedjiev, N. and Gruzleski, J.E. (1991) Thermal Analysis of Strontium Treated Hypoeutectic and Eutectic Aluminum-

Silicon Casting Alloys. *AFS Transaction*, **35**, 1-6.

- [9] Malekan, M., Dayani, D. and Mir, A. (2014) Thermal Analysis Study on the Simultaneous Grain Refinement and Modification of 380.3 Aluminum Alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **115**, 393-399.
<https://doi.org/10.1007/s10973-013-3189-x>