

ZL101 钠盐变质处理过冷度、变质时间和加入量的关系研究

邹明聪¹, 赵忠兴¹, 冯志军², 李宇飞², 王海波³

(1. 沈阳理工大学, 辽宁沈阳 110168; 2. 沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022;

3. 辽宁凤城合鑫机械制造有限公司, 辽宁凤城 118100)

摘要: 研究了钠盐三元变质剂的加入量对ZL101合金变质过冷度和变质时间的影响。试验结果表明: 在所建立的钠盐三元变质剂加入量、变质处理过冷度和变质时间三者的准三维图上, 可以直接获得合金在最佳变质效果时(变质处理凝固时过冷度最大), 钠盐加入量与变质时间的对应关系; 也可以获得合金在具有变质效果时(变质处理凝固时过冷度大于4℃), 钠盐加入量与变质时间的对应关系。

关键词: ZL101; 钠盐变质; 过冷度; 变质时间

作者简介:

邹明聪(1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向为铝硅合金变质及检测技术。

E-mail: 872454357@qq.com

通讯作者:

赵忠兴, 男, 教授, E-mail: zzx_teacher@163.com

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)02-0158-04

基金项目:

国家重点实验室开放课题项目(LACT-002)。

收稿日期:

2018-12-19 收到初稿,

2018-12-26 收到修订稿。

亚共晶铝硅合金不仅具有优良的铸造性能、抗疲劳性能和耐腐蚀性能, 而且具有较高的比强度和综合力学性能, 因此广泛应用于航空、航天、军事及汽车工业中^[1-2]。铝硅合金中共晶组织的形态和大小对合金的力学性能影响较大, 共晶硅组织在未变质的情况下呈粗大的板条状或针片状, 严重破坏了铝基体。为了改善合金的力学性能, 通常在浇注前向合金液中加入一定量的变质剂, 抑制初生硅的生长, 改善共晶硅的形态^[3-4]。因此, 变质已成为铝硅合金提高力学性能的重要途径。工业生产中, 主要的变质元素有Na、Sr、Sb和稀土等^[5]。

Na是Al-Si系合金中比较常用的变质元素, 通常以钠盐的形式加入, 钠盐变质剂价格低廉而且变质效果快, 种类繁多^[6]。目前对钠盐变质工艺的研究较多, 但建立钠盐加入量与合金变质处理后过冷度、变质时间三者之间对应关系的相关研究还很少。本文通过向ZL101合金中加入三元钠盐变质剂, 利用自主研发的热分析仪, 采集合金冷却曲线, 测试合金变质处理后的过冷度, 观察其共晶平台温度差值, 并结合组织形貌, 研究不同加入量的Na盐对ZL101合金变质处理过冷度和变质时间的影响, 采用图表的方法分析三者之间的相互对应关系, 建立三者之间的准三维关系图, 以便在图上直接读取所需的相关数据, 对实际生产具有更直观的指导意义。

1 试验材料与方法

1.1 试验合金与变质剂

试验原料为99.9%(质量分数, 下同)的纯铝, Al-12%Si中间合金, 以及纯Mg。将各原料按所需含量配制熔化, 化学成分如表1所示。

变质剂化学成分如表2所示, 采用三元变质剂机械混合法, 破碎、过筛后放入烘箱内, 将温度设置为150℃烘干2h后, 储存于密封、干燥的容器中备用。

1.2 试验工艺

将已经配制好的合金放入工业电阻炉中进行熔化。将熔化温度设定为750℃,

变质剂加入温度为740 ℃，变质剂的加入量按1%、1.5%、2%、2.5%分别加入到熔化之后的铝液中。采用“切盐”法把液面结壳的变质剂切成碎块，然后将碎块压入铝液中，静置一段时间后，选取不同的时间点，分别浇注到已预热好的专用样杯中，试样浇注温度控制在710 ℃左右。利用自主研发的SGJ-II型热分析仪，采集合金在样杯中温度随时间变化的冷却曲线。金相分析样品取自浇注的试样底部。将截取好的试样进行磨制、抛光后，利用金相显微镜对合金组织进行观察，并对照热分析曲线分析变质效果。

2 试验结果与分析

2.1 Na盐加入量、变质过冷度与变质时间的关系

试验采用同一个热电偶进行，以尽量降低检测误差。首先测试ZL101合金未变质的凝固过程曲线，得到未变质处理的ZL101合金的共晶凝固平台温度，作为后续试验结果的对比基础。按设计的试验工艺，用不同比例的钠盐对合金进行变质处理。

大量研究表明，变质剂的加入使Al-Si合金共晶温度降低，变质前后共晶温度的差值 ΔT_{EG} 可以用来评价变质效果的好坏， ΔT_{EG} 也称为共晶过冷度。 ΔT_{EG} 与合金成分、冷却速度、变质元素种类、加入量以及变质处理后时间有关^[7]。当 $\Delta T_{EG}=4\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时已变质正常，而 ΔT_{EG} 数值越高，合金的变质效果就越好，若 ΔT_{EG} 小于4 ℃，一般认为变质效果已经衰退^[8-9]。在传统的合金冷却凝固过程曲线上，表达的是合金凝固过程中温度与时间的关系，不能直接读出合金不同状态下变质效果的好坏。鉴于此，我们绘制出在不同变质处理工艺的条件下（钠盐加入量不同）表达变质效果的指标（过冷度）与变质时间的对应关系，如图1所示。

但图1是一个二维图，表达三个因素之间的关系不够直观，因此我们将图1的数据采用图2所示的三维曲面图表达钠盐加入量、过冷度和变质时间的准三维关系。

在图2中，可以很直观的读出三者之间的对应关系，如钠盐加入量为1.5%时，在2 min和20 min过冷度均达到8 ℃；当钠盐加入量为2%时，在8 min达到最大过冷度10 ℃，此时达到了最好的变质效果，变质有效期（过冷度大于4 ℃）维持在50 min左右。而且由图中曲线的变化也可以得出一些变化的趋势，如在相同的变质时间，随着钠盐加入量的增加，过冷度增加，变质效果更好；得到同样的变质过冷度，可以由不同的钠盐加入量与变质时间相匹配。

准三维对应图对实际生产的指导意义在于，可以合理地选用变质工艺，获得最佳的生产效益。如合金在变质后能在10 min内浇注完成，选用1.5%的钠盐加

入量，在获得好的变质效果基础上，可降低钠盐加入量，从而减少成本。

2.2 Na盐变质对合金显微组织的影响

为了验证上述试验结果的可靠性，我们对典型节点的凝固试样进行金相组织分析，如图3所示。

表1 铝合金化学成分

Table 1 Chemical composition of aluminum alloy $w_B/\%$

Si	Mg	Al
7	0.35	余量

表2 变质剂化学成分

Table 2 Chemical constituents of modifiers $w_B/\%$

NaF	NaCl	KCl
45	40	15

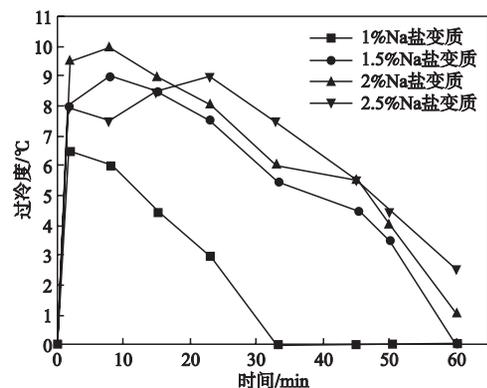


图1 Na盐加入量不同时过冷度与变质时间的关系

Fig. 1 The relationship between super-cooling degree and modification time under different amounts of sodium salt modifier

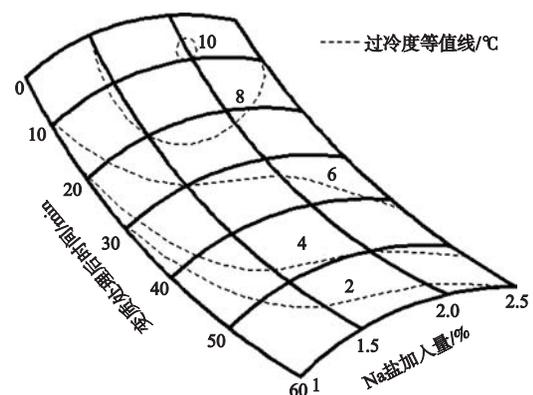


图2 钠盐加入量、过冷度和变质时间准三维关系曲面图

Fig. 2 Three-dimensional curved surface diagram of sodium addition amount, modification time and super-cooling degree

由图3可见,合金未变质前是粗大针片状的共晶硅杂乱地分布在铝基体中;变质后,共晶硅呈纤维状,相对集中分布,而且随着过冷度的增大,共晶硅的细化效果更加明显,进一步说明所绘制的准三维关系图是可行的。

3 结论

(1) 由试验所建立的ZL101合金钠盐三元变质剂加入量、变质处理过冷度和变质时间三者的准三维

图,能够直观地表达三者之间的对应关系,可以直接读出获得最佳变质效果时(变质处理凝固时过冷度最大),钠盐加入量与变质时间的对应关系;也可以获得合金在具有变质效果时(变质处理凝固时过冷度大于 4°C),钠盐加入量与变质时间的对应关系。

(2) 对试验中不同节点试样的金相组织分析,与准三维图的结果对应性好,说明所建立的准三维关系图是可行的。

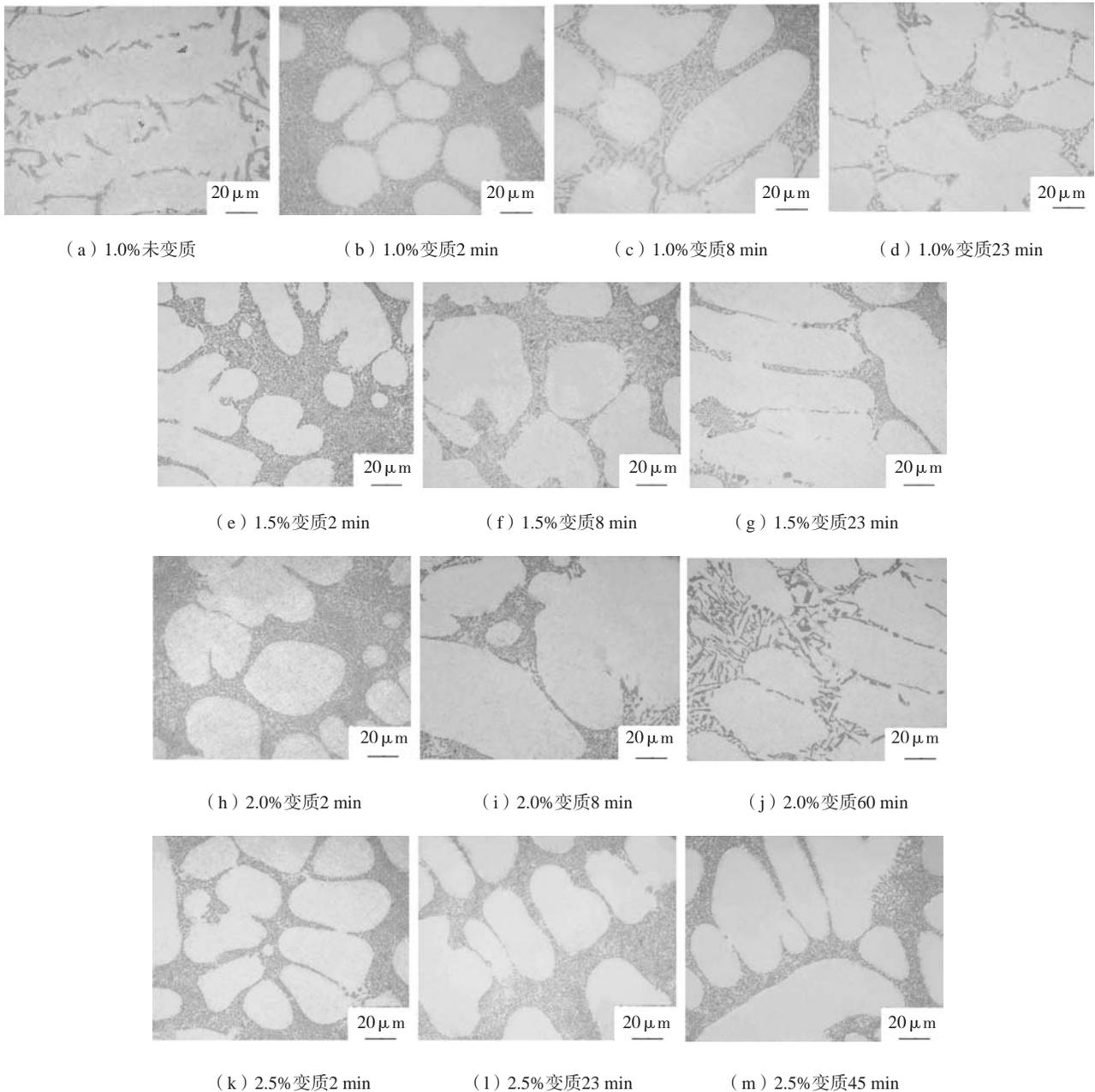


图3 金相组织分析

Fig. 3 Metallographic analysis

参考文献:

- [1] Sun Yu, Pang S P, Liu X R, et al. Nucleation and growth of eutectic cell in hypoeutectic Al-Si alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21 (10) : 2186-2191.
- [2] 王文华, 司乃潮, 刘光磊, 等. 热处理工艺对多元Al-Si 合金力学性能的影响 [J]. 铸造, 2012, 61 (8) : 925-928.
- [3] 马广辉, 李润霞, 段林. 铸造缺陷对ZL101合金断裂行为的影响 [J]. 铸造, 2018, 67 (2) : 162-166.
- [4] 李豹, 张志峰, 王志刚, 等. Sr对铸态Al-7Si-Mg 合金组织和力学性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33 (8) : 691-694.
- [5] 宋丽英, 刘昊昕, 聂赛男, 等. Sr变质对ZL101合金显微组织和低温拉伸性能的影响 [J]. 铸造, 2018, 67 (2) : 146-151.
- [6] 董光明, 廖恒成, 孙国雄, 等. Sb变质后 Al-Si 合金共晶组织的不均匀性 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31 (5) : 418-420.
- [7] 胡中潮, 于慧, 崔元胜, 等. Sb、Te变质对ZL101合金组织和性能的影响 [J]. 铸造, 2018, 67 (6) : 502-506.
- [8] 赵光伟, 丁翀, 叶喜葱, 等. Al-Cu-Mg包共晶合金凝固组织演变及凝固路径研究 [J]. 铸造, 2018 (3) : 203-207.
- [9] 吕孟杰, 陈建勋, 吴树森, 等. 铈对铝硅合金变质效果的 炉前快速热分析研究 [J]. 铸造, 2017, 66 (1) : 11-15.

Relationship Between Super-Cooling Degree, Modification Time and Addition Amount of Ternary Sodium Salt Modifier During Metamorphic Treatment of ZL101

ZOU Ming-cong¹, ZHAO Zhong-xing¹, FENG Zhi-jun², LI Yu-fei², WANG Hai-bo³

(1. Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, Liaoning, China; 2. Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China; 3. Liaoning Fengcheng Hexin Machinery Co., Ltd., Fengcheng 118100, Liaoning, China)

Abstract:

This research focused primarily on studying the effect of different amounts of ternary sodium salt modifier on the super-cooling and modification time during metamorphic treatment of ZL101 alloy. A quasi-three-dimensional curved surface diagram was established based on the addition amount of sodium salt modifier, metamorphic treatment super-cooling degree and modification time, in which the relationship between the addition amount of sodium salt and the modification time upon appearing the optimal metamorphic effect (the maximum super-cooling degree during the modification of solidification treatment), and upon appearing the metamorphic effect (when super-cooling degree is more than 4 °C during the setting treatment), could be directly obtained.

Key words:

ZL101; sodium modification; super-cooling degree; modification time