

变质处理对新型 Al-10Sn-4Si 合金结晶组织的影响*

袁鸽成¹⁾ 黎祚坚¹⁾ 姜燕雄²⁾ 张新明²⁾

(1) 广东工业大学材料科学与工程系, 广州, 510090 (2) 中南工业大学, 长沙, 410083)

摘要 采用钠盐变质剂对新型 Al-10Sn-4Si 轴承合金熔体进行变质处理, 结果发现: 变质处理不仅可以细化共晶 Si 相, 而且可以明显地改善共晶 $\beta(\text{Sn})$ 相的结晶行为, 使得 $\beta(\text{Sn})$ 相环绕 Si 粒子凝固并且以近似网状分布于晶界, 为均匀化后形成均匀的 $\beta(\text{Sn})$ 包 Si 的“包晶”式相组织创造了有利的条件。

关键词 变质处理; 铝锡硅合金; 结晶组织

中图资料法分类号 TG113.12; TG29

铝锡硅系合金是近年来国外研究并开发的新型发动机轴承材料, 这种新型 Al-Sn-Si 系合金的基体中既含有柔软的 $\beta(\text{Sn})$ 相, 又包含硬质的 Si 粒子, 因而显示出比传统 Al-Sn 两相合金更为优良的力学和摩擦学综合特性^[1~5]. 国内对这方面的研究很少, 目前仍鲜见报导. 笔者的前期研究发现: 新型 Al-Sn-Si 系合金中, 除 Si 元素在 Al 中有极小的溶解度外, 其余组元之间未形成化合物且几乎互不固溶, 并且, 由于 Sn 与 Si、Al 的比重差大, 因此, 熔铸控制不当, 难以得到均匀的结晶组织, Si 常以粗大的条状分布, $\beta(\text{Sn})$ 相也分布极不均匀^[6], 因此, 改善这类合金的铸态组织尤其重要. 本文研究钠盐变质处理对铝锡硅合金相组织的影响并阐述影响的原因, 为控制合金的最佳相组织组态提供理论依据.

1 实验方法

采用坩埚电阻炉熔炼, 铁模水冷铸造法制备坯料. 试验合金的名义成分为: Sn: 10wt.%, Si: 4wt.%, Al: 余量. 合金熔体采用变质和不变质两种处理方式, 然后分别浇铸成 1 号锭和 2 号锭. 变质剂为 NaF+NaCl+KF 三元混合盐. 制备的锭坯为 150mm×120mm×25mm 方锭. 采用线切割机在锭坯上切取金相样品, 样品经粗磨、精磨、抛光浸蚀后, 在万能金相显微镜(OM)下, 观察变质与未变质微观组织的差异.

2 实验结果及分析

铸态显微组织如图 1(a, b) 所示, 图 1(b) 是未经变质处理的凝固态组织, 在光学显微镜

收稿日期: 1997-06-26

* 湖南省自然科学基金项目

(OM) 下, 灰色共晶 Si 以条状分布于晶界, 黑色的 $\beta(\text{Sn})$ 相以粗大球状和条状也分布于晶界. 文献[6] 采用 XRD 和 SEM 证实了这种相组织. 显然, 在此条件下, 凝固态组织存在 $\beta(\text{Sn})$ 的不均匀分布现象. 图 1(a) 为变质处理后的凝固组织, $\beta(\text{Sn})$ 相呈近似网状分布于晶界, 比未变质处理组织分布均匀, 条状的共晶 Si 不复存在, 而是以颗粒状的形态被 $\beta(\text{Sn})$ 相包围, 由此可见, 变质处理不仅可以改变共晶 Si 的形貌, 使硅粒子细化, 而且可以改变 $\beta(\text{Sn})$ 相的结晶行为, 使 $\beta(\text{Sn})$ 相包围硅粒子均匀分布.

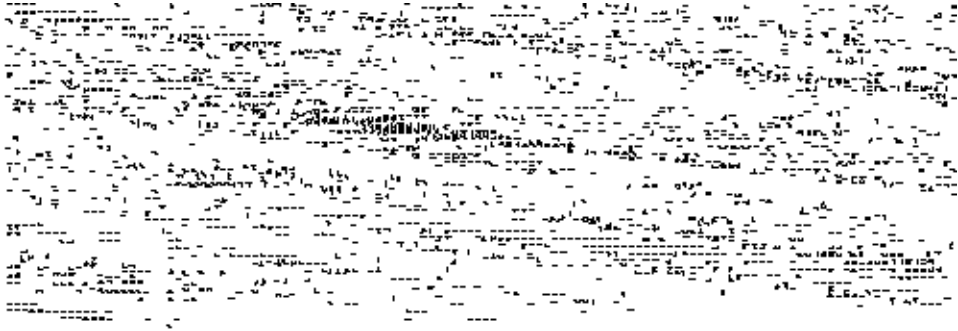


图 1 凝固态组织的(OM) 形貌 (a) 变质 (b) 未变质

变质组织经适当均匀化处理后, 其显微组织如图 2(a, b) 所示. 图 2(a) 为 SEM 的背散射电子像(BEI), 根据原子序数大小, 白色为 Sn, 灰色为 Si, BEI 像很好地反映了 Sn、Si 两相的衬度. $\beta(\text{Sn})$ 相以 Si 粒子为核心聚集球化形成明显的 Sn 环绕 Si 的“包晶”式相组织. 图 2(b) 为采用选择性浸蚀强烈地腐蚀 $\beta(\text{Sn})$ 相后的二次电子像(SEI), 显而易见, Si 粒子存在于 $\beta(\text{Sn})$ 相中, 呈现出凸凹不平的形貌, 其平均尺寸为 $2\sim 4\mu\text{m}$, 相应的 Sn 相平均尺寸为 $3\sim 8\mu\text{m}$, 它们进一步说明了在基体相中形成了 Sn 包 Si 的复合相结构. 众所周知, Sn 是柔软组元, 具有好的润滑功能; 而硅是耐磨性极高的硬粒子. 毋庸置疑, 这种软硬相相结合的“包晶”式复合相组织为提高轴承材料的性能创造了最佳的相组织组态.

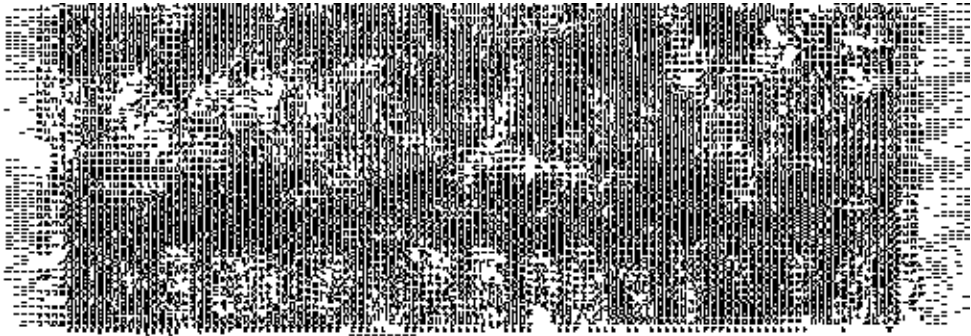


图 2 凝固态均匀化后的 SEM 形貌 (a) 背散射电子像(BEI) (b) 腐蚀 $\beta(\text{Sn})$ 相后的二次电子像(SEI)

合金的结晶组织可以从 Al-Sn-Si 三元系结晶过程讨论. 然而, Al-Sn-Si 三元系相图目前还未有报导, 因此, 不妨从 Al-Sn、Al-Si、Si-Sn 三个已知的二元系相图来讨论 Al-Sn-Si 三元系情况, 由于三个二元系都为共晶型相图, Al-Sn、Si-Sn 的共晶点几乎为纯 Sn, 并且该三元系合金未形成任何化合物^[6, 7], 因此, Al-Sn-Si 三元系理论上应为共晶型相图. 图 3 就是根据三个二元共晶系构成的 Al-Sn-Si 三元共晶系液相面投影示意图及展开图, 由

三个二元共晶点位置,可以断定三元共晶点在 Sn 角附近,即含 Sn 量几乎为 100wt.%, 共晶温度约为 229℃. 因此,根据图 3 可知,新型铝锡硅合金的结晶过程应为液相首先结晶出 α (Al) 固溶体相,然后,开始发生 $L-\alpha(\text{Al})+\text{Si}$ 二元共晶反应,随着温度的降低,液相中 Sn 的浓度越来越高,最后在 229℃左右,几乎为纯 Sn 的液相发生 $L-\alpha(\text{Al})+\text{Si}+\beta(\text{Sn})$ 三元共晶反应,因此,最后凝固的 Sn 相依附于共晶 Si 粒子凝固并存在于晶界,由于先行结晶的共晶 Si 为 $\beta(\text{Sn})$ 相的凝固提供了有利的非自发核心,未变质时, $\beta(\text{Sn})$ 相依附于长条状共晶 Si,由于总表面能太大而不能全包围条状 Si 而凝固,因此 $\beta(\text{Sn})$ 相分布极不均匀,但是,在变质条件下, Si 细化成粒状, $\beta(\text{Sn})$ 完全可以环绕 Si 而凝固;另一方面,变质处理可使熔体的粘度增加^[6],可以减低 $\beta(\text{Sn})$ 与其它元素比重差的影响,为 $\beta(\text{Sn})$ 相在晶界的均匀分布创造了有利条件.

关于钠盐细化共晶硅相的机理,前人提出了一些观点,如促进生核说、抑制晶体长大说、吸附说、降低表面能和形核功说等等^[8,9]. 到目前为止,仍众说纷纭,尚无定论. 但是,从微观组织来看,变质剂的偏析及吸附学说能够较好地解释实验结果. 钠盐在高温熔体中经反应可以生成游离 Na 或 AlSiNa 化合物^[8]. Na 是表面活性元素,易于偏析并被吸附在 Si 相周围,阻碍其长大,并使枝晶根部出现缩颈而易于游离,从而使长条状或层片状共晶硅得到细化,文献[8]指出:用 Na 变质时, Al-Si 共晶转变温度可降低 10℃,这是 Na 阻碍 Si 相生成的有力证明.

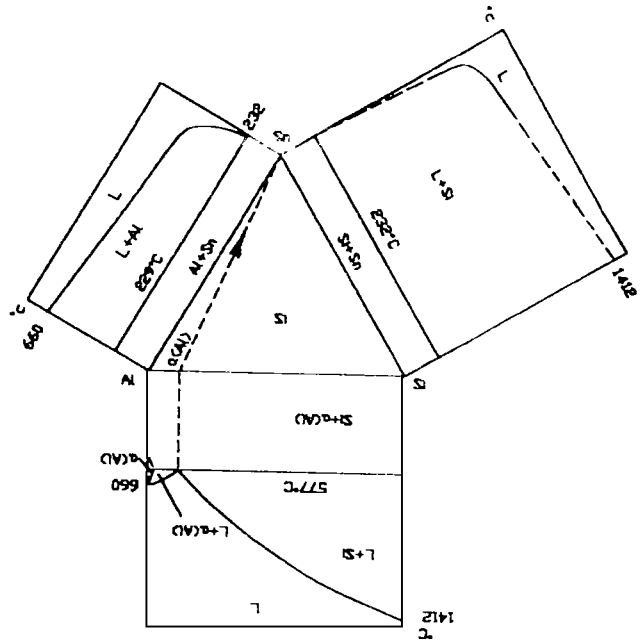


图3 Al-Sn-Si 三元相图展开图及液相面投影示意图

3 结论

- (1) Al-10Sn-4Si 合金未变质时, Si 为粗大的长条状, $\beta(\text{Sn})$ 相分布极不均匀.
- (2) 变质处理不仅可以细化共晶 Si 相,而且可以改善 $\beta(\text{Sn})$ 相的结晶行为,使 $\beta(\text{Sn})$ 相包围 Si 粒子凝固并均匀分布于晶界,为形成 $\beta(\text{Sn})$ 包 Si 的“包晶”式复相组织创造了有利条件.
- (3) 变质处理改善结晶组织的原因是钠盐变质剂阻碍了共晶 Si 相的生长,并且增加了熔体的粘度,减小了 Sn 与 Si、Al 的比重差影响,从而使 $\beta(\text{Sn})$ 相围绕 Si 粒子均匀凝固.

参考文献

- 1 Mengucci P, Abis S. Electron microscopy characterization of Al-Sn metal-metal matrix composites, *Journal of Alloy and Compound*, 1994, 215(11): 309~313
- 2 Eastwood, Brit. B J Bearing Alloys, uk Pat., GB2, 175, 604, 1986.
- 3 荻田幸男. 汽车发动机轴承. 润滑(日), 1988, 33(2): 35~41
- 4 Warriner J E, Westerling D F. The Development of Medium Speed Engines Bearings, *transaction of the*

- ASM E. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 1991, 113(7): 331~ 339
- 5 Tanaka. t et. al, multilayer aluminium- based alloy bearing having superior fatigue resistance and compatibility, Pat. , US5362574, 1994
- 6 袁鸽成. 掺硅低锡铝合金/钢双金属滑动轴承材料研究:[学位论文]. 湖南:中南工业大学, 1990.
- 7 Eric A. Brandes, Smithells metals reference book, New York, In association with fulmer research insitute Ltd., 1983: 50~ 434
- 8 陈存中. 有色金属熔炼与铸造. 北京: 冶金工业出版社, 1991. 114~ 119
- 9 Gruzleski j E. The art and science of modification: 25 year of progress AFS Transactions, 1992, 100: 673~ 683

Influence of Modification on Solidification Microstructure of New Al- 10Sn- 4Si Alloy

Yuan Gecheng¹⁾

Li Zuojian¹⁾

Lou Yanxiong¹⁾

Zhang Xinming²⁾

(1) Dept. of Material Science and Engineering, GDU T, Guangzhou, 510090)

2) Central South University of Technology, Changsha, 410083)

Abstract New Al- 10Sn- 4Si bearing alloy was modified by means of sodium salt modification agent. The results show that modification can not only make the euctition Si fined, but also improve solidification behavior of β (Sn) phases, hence, β (Sn) phases were solidified around Si and distributed in the grain boundary as network structure. It makes an advantage condition for the ' peritectic- type' structure of silicon surrounded with tin formed in homogenization.

Key words modification; Al- Sn- Si alloy; crystallization structure