

强磁场对过共晶铝硅合金中初晶 Si 分布的影响

Effect of High Magnetic on Distributing of Primary Silicon in
Hypereutectic Al-Si Alloy

连 峰^{1,2}, 李廷举¹, 胡国兵¹, 金俊泽¹

(1 大连理工大学, 辽宁 大连 116024; 2 大连海事大学, 辽宁 大连 116026)

LIAN Feng¹, LI Ting-ju², HU Guo-bing², JIN Jun-ze²

(1 Dalian University of Technology, Dalian 116024,

Liaoning, China; 2 Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

摘要: 对 Al-18% (质量分数) Si 合金进行磷盐变质处理, 分别在变质剂反应温度保温 20, 40min, 发现不施加强磁场条件下, 凝固组织中的初晶 Si 相集中在试样周边附近, 试样中心处为共晶组织。施加强磁场条件下, 凝固组织中的初晶 Si 相分布在整个试样中。施加强磁场后试样中的初晶 Si 的尺寸比没有被施加强磁场的试样中的初晶 Si 尺寸大。

关键词: 强磁场; 变质处理; 初晶 Si; 共晶组织

中图分类号: TG243.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2005)12-0041-04

Abstract: Al-18% (mass fraction) Si hypereutectic alloy was modified with P-salt, the modified samples were kept at the temperature of modification reaction for 20 and 40 minutes under the conditions with and without high magnetic field respectively. The results showed that under the conditions without high magnetic field, primary silicon in solidified structure concentrated at the edge of the sample and eutectic structure appeared in the center; while the high magnetic field was imposed, primary silicon distributed evenly in the sample. The size of primary silicon in the sample with magnetic filed was bigger than that of the sample without magnetic field.

Key words: high magnetic filed; modification; primary silicon; eutectic structure

二元铝硅合金的力学性能主要取决于硅粒子的形状与分布状态, 而硅含量对其影响则较小。不论是共晶体中的硅, 还是初生的硅晶体, 如果既细又圆, 同时分布均匀, 则合金既具有高的塑性, 又有相当高的强度^[1]。过共晶型铝硅合金的初晶 Si 的细化多使用以磷盐为主的复合变质剂^[2]。过共晶铝硅合金经变质处理后, 组织中初晶 Si 的大小、形状和分布状况对切削刀具寿命和合金的切削加工表面质量影响极大。具有细小、分散而形状圆钝化初晶 Si 的合金有比较好的切削性能^[3]。因此, 研究变质处理后初晶 Si 的分布具有重要意义。

近年来随着超导强磁场技术的发展, 10T 程度的高强度静磁场的利用变成了现实。利用强磁场下的洛伦兹力和磁化力控制材料物理化学反应的宏观或者微观过程, 达到改善材料性能甚至开发新型材料的研究备受瞩目。例如, 在未施加强磁场的情况下, 偏晶成分 Pb-15% Cu (质量分数, 下同) 的凝固组织呈大块状, 过偏晶成分 Pb-35.5% Cu 的凝固组织出现偏析。施加 10T 的强磁场后, Pb-15% Cu 的凝固组织明显细化,

Pb-35.5% Cu 的凝固组织的偏析明显改善^[4]。

本工作以过共晶 Al-18% Si 合金为研究对象, 对其进行磷盐变质处理, 研究强磁场对凝固组织中初晶 Si 相分布状态的影响。

1 实验方法

用抚顺生产的 ZL102 铝锭与纯硅配置 Al-18% Si 合金。ZL102 铝锭成分为 Si 11.9%, Mn 0.01%, Cu 0.08%, Ti 0.02%, Fe 0.5%, Zn 0.005%, Mg 0.01%, 其余为 Al。

图 1 为实验装置示意图。超导强磁场发生装置的内腔直径为 100mm, 高为 460 mm, 最大磁感应强度为 10.02T。自制的加热炉内径为 30mm, 高为 460 mm, 最大功率可达 3500W。加热采用直流电源, 温度可以达到 1000℃以上, 通过调整电压控制温度。实验时将加热炉装入强磁场发生装置的内腔中, 二者之间用冷却水套隔开, 冷却水自下而上通入。用 K 型热电偶测量温度。

实验步骤如下:

将放有固态 Al+18% Si 合金的瓷管(内径为 20mm, 外径为 24mm) 装入加热炉中, 每次实验保持瓷管在同样位置上。

启动加热炉加热升温, 使固态 Al+18% Si 合金试料熔化。

当金属液温度达到 780℃ 时, 按 1.5% 的比例加入磷盐复合变质剂, 搅拌使其充分反应。

启动强磁场(磁场从 0T 升到 10T 需要 13min), 同时在 780℃ 分别保温 20min 和 40min。

停止加热, 使 Al+18% Si 合金在炉内随炉冷却, 冷却速度为 20℃/min 左右。待完全冷却后, 停止施加强磁场。

从瓷管中取出试样。从距底边 20mm 处切开, 研磨和抛光, 用 0.5% (体积分数) 氢氟酸腐蚀, 在光学显微镜下观察横截面和纵截面的宏观凝固组织, 并摄取组织照片。

在不施加强磁场条件下, 重复上述实验。

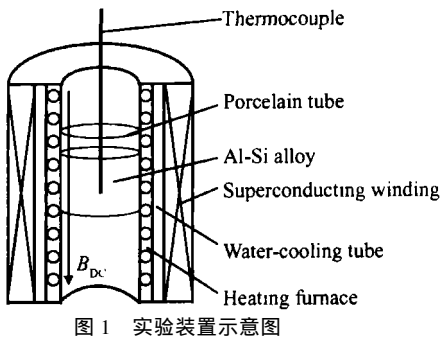


图 1 实验装置示意图

2 实验结果

图 2 为保温 20min 的试样横截面的凝固组织照片。其中图 2a, b 分别为不施加强磁场和施加强磁场的凝固组织。由图 2 可以看出, 不施加磁场时, 初晶 Si 偏聚在试样周边附近, 而试样的中心处为共晶组织。施加强磁场的条件下, 初晶 Si 分布在整个试样的横截面中。将图 2 的试样放大 100 倍示于图 3。其中图 3a, b 为不施加强磁场试样边缘和中心处的凝固组织, 图 3c, d 为施加强磁场试样边缘和中心处的凝固组织。由图 3 可以更加清楚地看出, 不施加强磁场时, 初晶 Si 在试样边缘附近局部密集析出, 形成初晶 Si 块群, 试样的中心处为共晶组织。施加强磁场的条件下, 在整个试样的横截面中都分布有初晶 Si。

图 4 为保温 40min 的试样横截面的凝固组织照片。其中图 4a, b 分别为不施加强磁场和施加强磁

的凝固组织。可以看出, 与不施加强磁场相比, 施加强磁场条件下的初晶 Si 分布变得均匀。将图 4 的试样放大 100 倍示于图 5。图 5a, b 为不施加强磁场试样边缘和中心处的凝固组织, 图 5c, d 为施加强磁场试样边缘和中心处的凝固组织。可以看出, 不施加强磁场条件下, 初晶 Si 在试样边缘附近发生偏聚, 试样中心处没有初晶 Si 出现。施加强磁场条件下初晶 Si 分布在整個试样横截面中。另外从图 2 和图 4 可以看出, 被施加强磁场后, 试样中的初晶 Si 的尺寸比没有被施加强磁场的试样中的初晶 Si 的尺寸大。

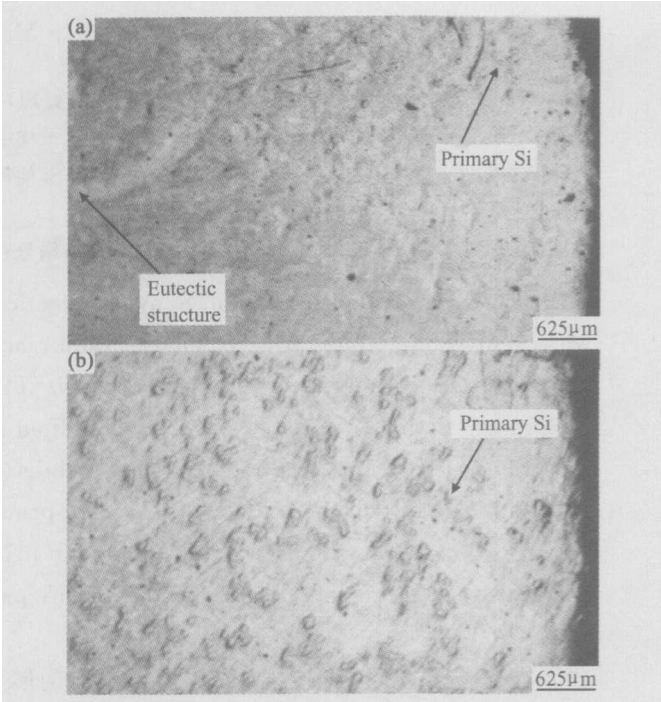


图 2 Al-18% Si 合金的凝固组织(保温 20min)
(a) 不施加强磁场; (b) 施加强磁场

Fig. 2 Solidified structure of the Al-18% Si alloys (holding time 20min)
(a) without high magnetic field; (b) with high magnetic field

3 结果与讨论

硅晶体是遵循孪晶凹角即 TPPE (Twin Plane Re-entrant Edge) 机制生长的, 初生 Si 相依 {111} 面生长而呈现八面体^[5]。磷盐在合金液中发生反应分解出磷原子与铝结合成高熔点的 AlP。由于 AlP 与 Si 晶格结构相同, 都属于金刚石型, 且晶格常数也相近 (AlP 为 0.3545nm, Si 为 0.357nm), 因此, AlP 可作为硅的结晶核心。但更重要的是可能增加了溶液中硅原子集团的浓度起伏, 并与 Si 结合成联键 AlP-Si, 促使原来溶液中硅晶胚和原子集团快速生长至晶核尺寸, 而成为晶核, 因此使溶液中硅核心数大大增加^[6]。

试样从四周向中间凝固, 在最先开始凝固的边缘部

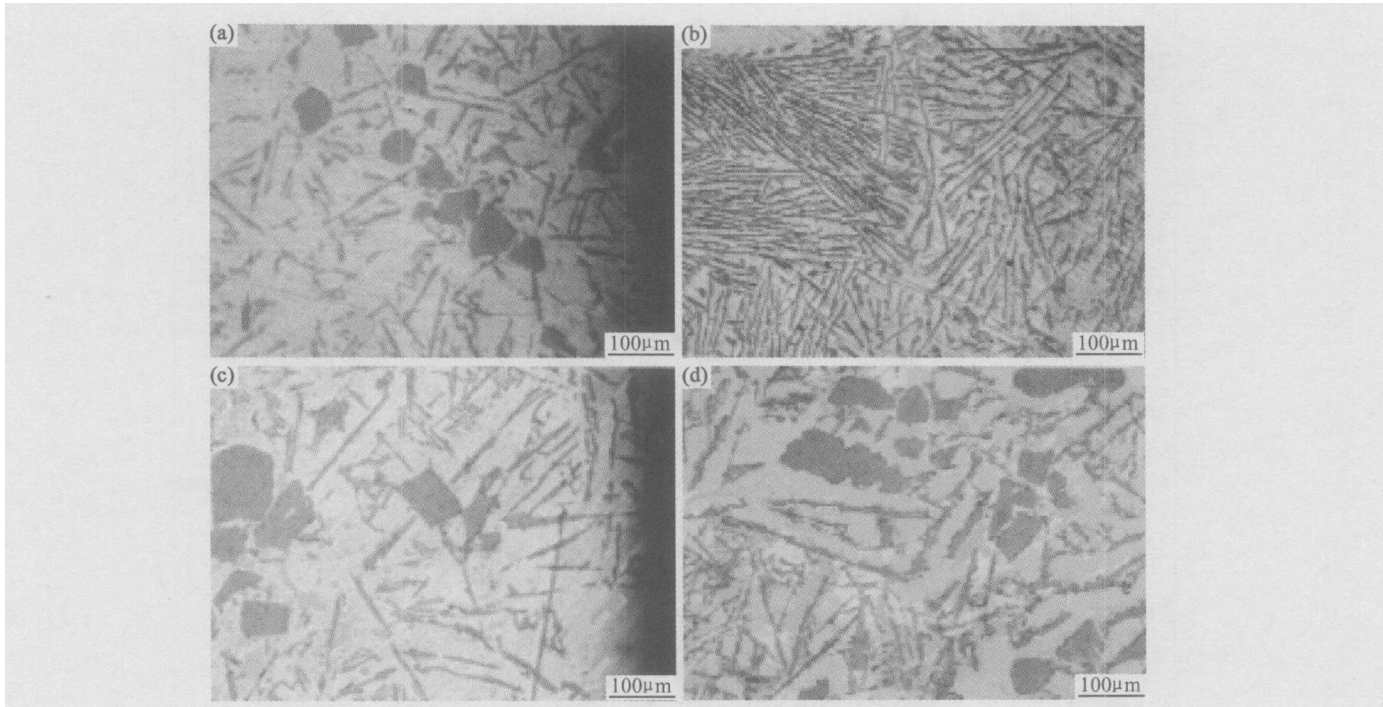


图 3 Al-18% Si 合金的凝固组织(保温 20min)

(a) 不施加强磁场, 试样边缘; (b) 不施加强磁场, 试样中心; (c) 施加强磁场, 试样边缘; (d) 施加强磁场, 试样中心

Fig. 3 Solidified structure of the Al-18% Si alloys (holding time 20min)

(a) without high magnetic field, edge of sample; (b) without high magnetic field, center of sample; (c) with high magnetic field, edge of sample; (d) with high magnetic field, center of sample

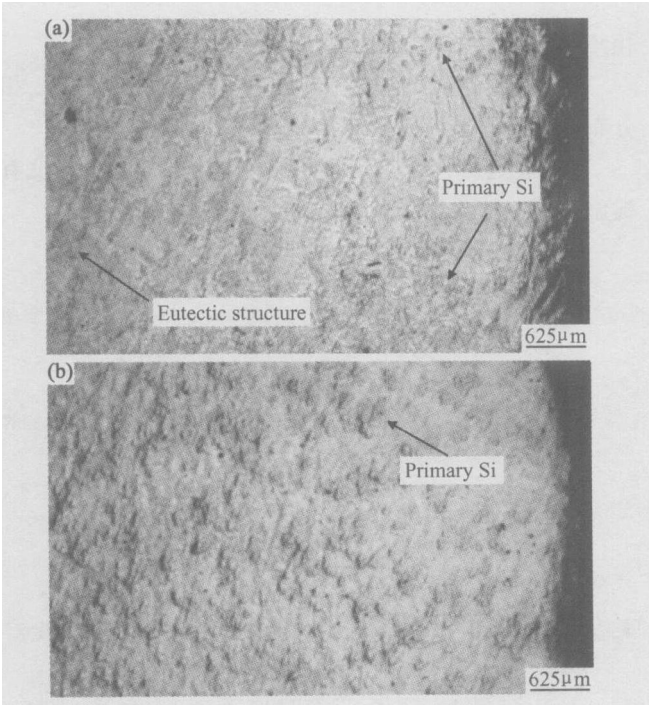


图 4 Al-18% Si 合金的凝固组织(保温 40min)

(a) 不施加强磁场; (b) 施加强磁场

Fig. 4 Solidified structure of the Al-18% Si alloys (holding time 40min)

(a) without high magnetic field; (b) with high magnetic field

分先析出初晶 Si 相。由于液体中存在温度梯度和浓度梯度, 造成体系中不同区域的液体密度有差异, 在重

力场作用下液体中就产生对流运动。此时由于对流的作用, 硅原子具有较强的扩散能力, 固液界面前沿的熔体中能提供充足的硅原子。同时离界面较远处的硅原子也能源源不断地扩散到界面上来。因此随着凝固的进行, 初晶 Si 不断在试样的边缘析出, 温度不断下降, 当温度达到共晶温度时, 此时液相的成分达到共晶成分, 从而生成共晶组织。因此, 初晶 Si 会在试样的周边富集, 导致试样中心部分为共晶组织。

当导电熔体中存在由于重力场引起的对流运动, 外加磁场感应产生洛伦兹力, 这个力总趋向于使对流运动的强度减小。洛伦兹力与磁场强度的平方成正比, 所以磁场能够有效地抑制导电熔体中由重力场引起的对流^[7]。如图 6 所示。当导电性流体以不平行于强磁场 B_y 的 V_x 方向流动时, 在流体中会产生诱导电流 J_z , 它与强磁场相互作用就产生了洛伦兹力 $F_x = J_z \times B_y = (\sigma V_x \times B_y) \times B_y$ 。其中 σ 是导电率, V_x 是导电性流体的流速。流体由于受到洛伦兹力 F_x 的作用而被抑制, 即强磁场可以抑制 B 方向以外所有方向的流动。

在施加强磁场条件下, 由于对流被洛伦兹力所抑制, 因此硅原子的扩散能力很弱。而且离界面较远处的硅原子也无法扩散到固液界面上来。所以硅原子不能富集在试样的边缘部分。随着凝固的进行, 温度不

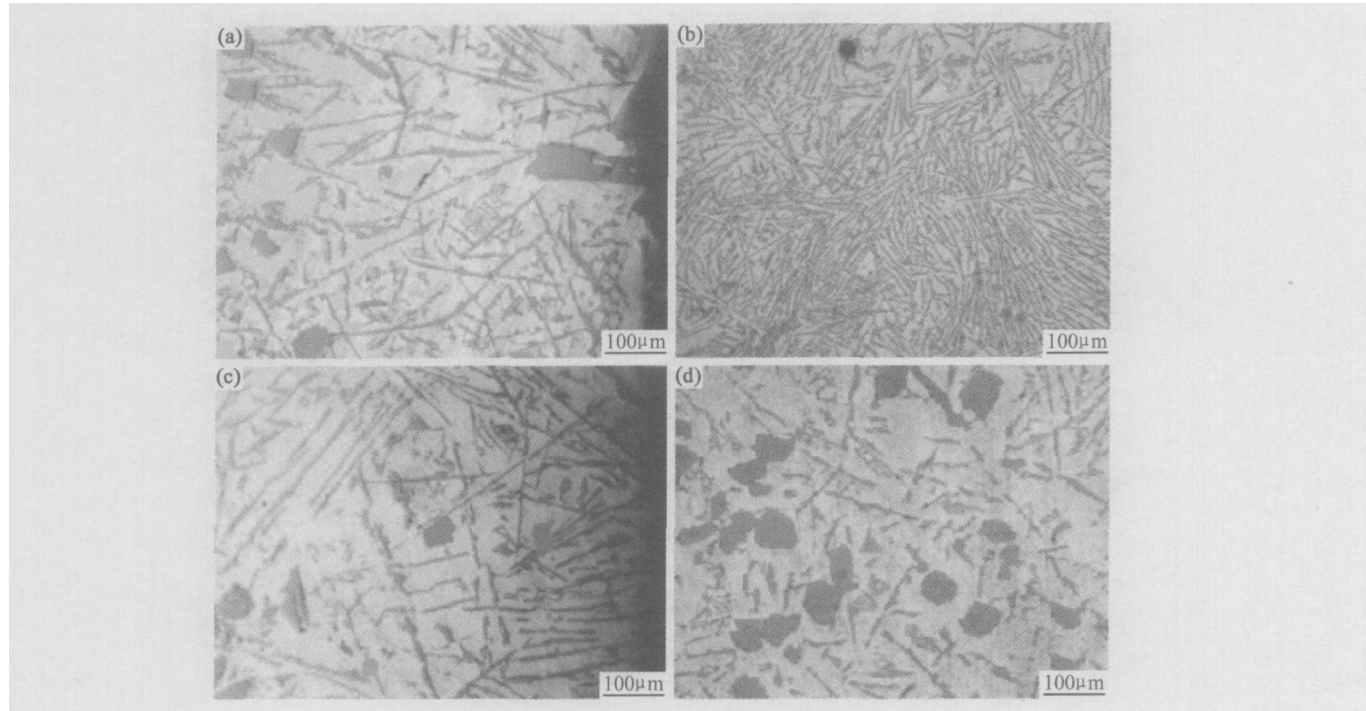


图 5 Al-18%Si 合金的凝固组织(保温 40min)

(a) 不施加强磁场, 试样边缘; (b) 不施加强磁场, 试样中心; (c) 施加强磁场, 试样边缘; (d) 施加强磁场, 试样中心

Fig. 5 Solidified structure of the Al-18%Si alloys (holding time 40min)

(a) without high magnetic field, edge of sample; (b) without high magnetic field, center of sample; (c) with high magnetic field, edge of sample; (d) with high magnetic field, center of sample

断下降, 在整个液相内部, 都能产生硅相的临界晶核, 形成初晶 Si。这样就使初晶 Si 在整个试样中均匀分布。

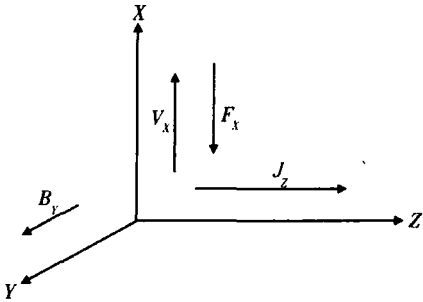


图 6 强磁场抑制对流原理图

Fig. 6 Principle of control of high magnet filed on convection

不施加强磁场情况下, 尽管硅原子能源源不断扩散到固液界面上来, 但是由于对流对固液界面的冲刷作用, 使得初晶 Si 的长大受到影响。而在施加强磁场的情况下, 由于强磁场抑制了对流, 也就抑制了对流对于固液界面的冲刷, 使得初晶 Si 可以充分地长大。因此出现了被施加强磁场试样中的初晶 Si 尺寸比没有被施加强磁场的试样中初晶 Si 的尺寸大的现象。

4 结论

(1) 不施加强磁场条件下, 凝固组织中的初晶 Si

相集中在试样周边附近, 试样中心处为共晶组织。

(2) 施加强磁场条件下, 凝固组织中的初晶 Si 相分布在整个试样中。

(3) 被施加强磁场试样中的初晶 Si 的尺寸比没有被施加强磁场的试样中的初晶 Si 的尺寸大。

参考文献

[1] L F 蒙多尔福 . 铝合金的组织与性能[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 316~ 317.
[2] 罗启全. 铝合金熔炼与铸造[M]. 广州: 广东科技出版社, 2002. 5~ 35.
[3] 全燕鸣, 周泽华, 张发英. 过共晶铝硅合金组织对切削加工性能的影响[J]. 机械工程学报, 1998, 34(1): 1~ 6.
[4] 金俊泽, 李廷举. 材料电磁加工新进展[J]. 稀有金属材料与工程, 2000, 29(增刊 1): 79~ 83.
[5] WEISS J C. Primary silicon in hypereutectic aluminum silicon casting alloys[J]. AFS Trans , 1987 , 32 : 51~ 62.
[6] 赵玉涛. 过共晶 Al-23% Si 合金中硅相生长的研究[J]. 铸造技术, 1996, (6): 43~ 46.
[7] ASAI S. Electromagnetic processing of materials[M]. Tokyo: Uchida Rokakuho Publishing Co Ltd, 2000. 49~ 50.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50234020)

收稿日期: 2005-02-04; 修订日期: 2005-07-29

作者简介: 连峰(1965-), 女, 博士研究生, 讲师, 从事电磁铸造专业的研究, 联系地址: 大连海事大学机电与材料工程学院(116026)。