

## 变质处理及热循环对 Al-17%Si 合金 组织和储热性能的影响\*

王波群, 张仁元, 祝海云

(广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510090)

**摘 要:**以 AlTi5B 中间合金和磷盐为复合变质剂, 通过金相分析和差热分析等方法研究了变质处理和熔化-凝固热循环对 Al-17%Si 合金显微组织、储热性能的影响。结果表明:经过磷盐和 AlTi5B 复合变质处理后的合金, 原粗大块状、条状的初晶硅明显减小且棱角钝化, 较大针状的共晶硅变为颗粒状; 在 480 ~ 620 °C 随循环次数增加初晶硅颗粒由小变大, 潜热值下降。

**关键词:**AlTi5B 中间合金; 磷盐; Al-17%Si 合金; 显微组织; 潜热值

**中图分类号:** TG146.2

**文献标识码:** A

相变储能材料在能量转换和利用的过程中, 常常出现间断性和不稳定性情况<sup>[1]</sup>, 所以要解决能量供求在时间和空间上不匹配的矛盾。采用 Al-Si 合金储热材料正是提高能源利用率的有效手段, 其原理是利用其在物态变化时吸收(放出)大量热量用于能量的储存<sup>[2]</sup>。

为了提高 Al-Si 合金的储热性能, 细化晶粒是有效的途径。在铝及其合金中加入少量的 Ti 时, 合金组织可得到明显细化<sup>[3]</sup>。在 Al, Ti 合金中加入 B 元素时, 晶粒细化效果显著提高<sup>[4]</sup>。用 AlTiB 细化剂细化铝合金, 细化效果得到很大的提高<sup>[5]</sup>。

目前, 对过共晶铝合金储热性能方面的研究还比较少, 尤其是对晶粒细化和储热关系的建立更是空白。过共晶铝硅合金具有导热系数高、相变点高、相变潜热大、膨胀系数小等特点, 符合相变储热材料的要求。本文选择过共晶铝硅合金作为研究对象, 并对其加入细化剂 AlTiB 的过共晶铝硅合金及其热循环进行研究, 从而获得高硅合金中晶粒细化及热循环对其储热性能的影响。

### 1 实验方法

实验原料为铝(99.999%)、硅(99.999%)、AlTi5B 中间合金(变质剂)和磷盐(变质剂)。在 SG2-5-10 型坩埚电阻炉中将试料熔化, 然后浇铸成 3 个直径 20 mm、长 100 mm 的试棒, 分别放入 50 ml 瓷坩埚并置于 SG-5-12 型箱式电阻炉中加热至 620 °C, 再在炉中冷却至 480 °C, 如此反复熔化-凝固热循环。在热循环 200, 600, 1000 次时, 分别在合金试样的中部取样, 然后分析金相组织并通过 DSC 测量各试样的相变温度。

用 24 齿的手工锯条分别在热循环前后的储热合金心部取粉末状试样, 并用丙酮洗净、吹干, 然后在德国耐驰 STA 449C 差热分析仪上对热循环前后的储热合金进行 DSC 分析, 测试其熔点和熔化潜热的变化。DSC 分析的参数为: 加热速率 10 K/min, 加热温度 30 ~ 700 °C, 纯度 99.999% 氮气, 流速 20 mL/min。

收稿日期: 2009-08-13

\* 基金项目: 国家“863”项目“太阳能热发电金属相变储热技术及传热锅炉研究”(No. 2007AA05Z460)

作者简介: 王波群(1983-), 男, 江西鄱阳人, 在读硕士。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 变质处理前后及热循环前后的显微组织

图1为热循环前 Al-17%Si 合金的金相组织. 图1(a)和图1(b)表明, Al-17%Si 合金经过 AlTi5B 和磷盐复合变质后, 原先粗大块状、条状的初晶硅明显缩小且棱角钝化, 较大针状的共晶硅变为颗粒状,

组织明显细化. 为了减少铝硅合金储热材料热循环过程中的偏析, 延长使用寿命, 实验中在 Al-17%Si 合金中添加 AlTi5B 中间合金和磷盐复合变质剂. 图2(a, b, c)分别为 Al-17%Si 合金变质处理后在 480~620 ℃之间进行 200, 600, 1000 次热循环的金相组织. 由图2可知, 热循环后金相组织中的初晶硅明显增大, 并且随循环次数增加初晶硅颗粒由小变大.

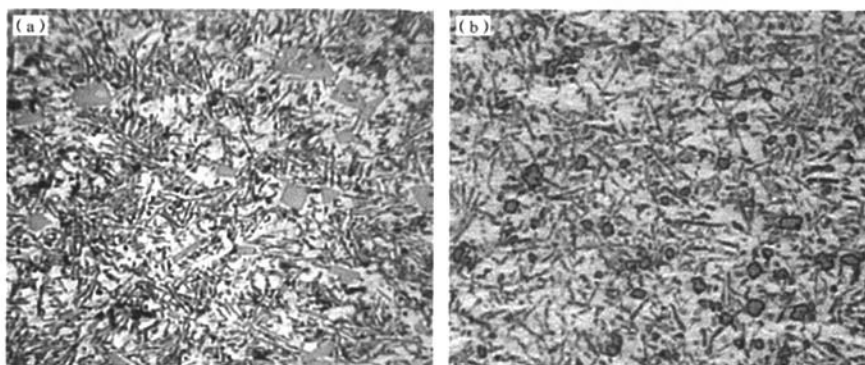


图1 热循环前变质前后的 Al-17%Si 显微组织, 100×

(a) 变质前; (b) 变质后

Fig.1 The morphology of Al-17%Si before and after modification

(a) before modification; (b) after modification

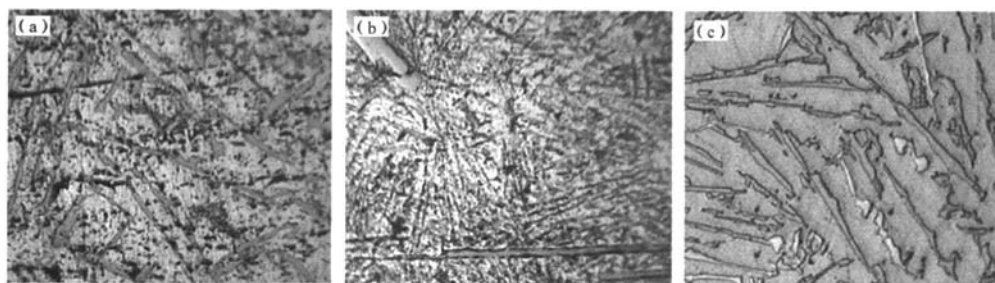


图2 变质后热循环的 Al-17%Si 显微组织, 100×

(a) 热循环 200 次; (b) 热循环 600 次; (c) 热循环 1000 次

Fig.2 The morphology of heat cycle Al-17%Si after modification

(a) after 200 times heat cycle; (b) after 600 time heat cycle; (c) after 1000 time heat cycle

### 2.2 变质处理后热循环前后的储热性能

图3为 Al-17%Si 合金变质处理后热循环前后的 DSC 曲线. 图3(a)表明: 热循环前经变质处理

后, 晶粒细化的过共晶 Al-17%Si 合金的潜热值 (587 J/g) 明显比共晶合金的潜热值 (约 530 J/g) 高. 图4为热循环次数与潜热的关系曲线. 由图3和图4可知, 热循环后潜热值降幅不大, 但随着循环

次数增加逐渐下降,从未热循环的 587J/g 降至 1000 次热循环的 545.6 J/g。结合图 1 和图 2 的金相组织分析得出:细化晶粒后的合金在经历 1000 次热循环后无明显的成分偏析,说明经变质处理及

热循环后的 Al-17%Si 合金能够保证储热的稳定性,可延长合金的循环使用寿命,降低相变材料的成本。

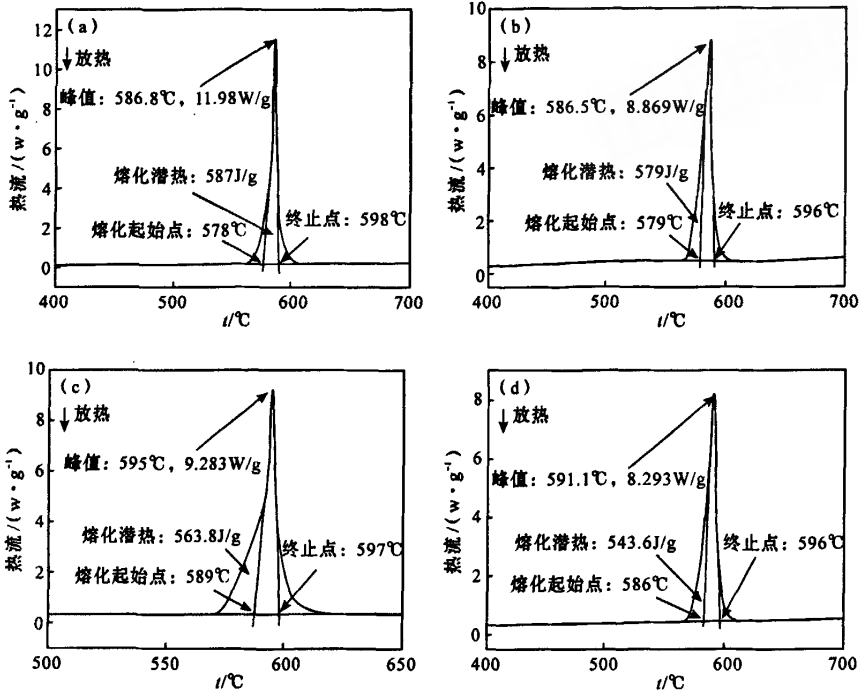


图3 经变质处理后 Al-17%Si 合金热循环前后的 DSC 曲线  
(a)热循环前;(b)热循环 200 次;(c)热循环 600 次;(d)热循环 1000 次

Fig.3 DSC curve of Al-17%Si alloy before and after heat circle

(a) before heat cycle; (b) after 200 times heat cycle; (c) after 600 time heat cycle; (d) after 1000 time heat cycle

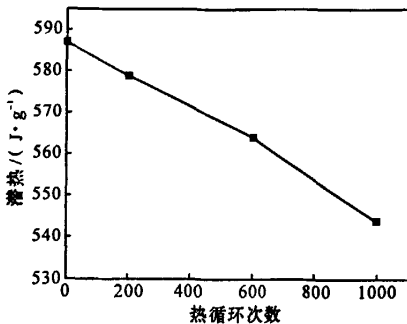


图4 热循环次数与潜热的关系曲线

Fig.4 Curve of the number of heat cycle and latent heat

### 3 结论

在熔炼过程中采用 AlTi5B 中间合金和磷盐复合变质,对过共晶 Al-Si 合金有明显细化作用,且细化后在热循环过程中无明显成分偏析;晶粒细化后的过共晶 Al-Si 合金的潜热比共晶合金的潜热大,潜热值随着热循环次数的增加而下降,但在目前热循环 1000 次的基础上潜热值变化不大;影响 Al-Si 合金的储热性能的关键因素:热循环前主要是初晶硅的含量,热循环后主要是成分偏析的控制。

## 参考文献:

- [1] 吴玉庭,张丽娜,马重芳. 太阳能热发电高温蓄热技术[J]. 太阳能,2007(3):23.
- [2] FARK D, BIRCHENALL C E. New eutecticalloys and their heats of transformation[J]. Metal Trans A, 1985 (16A):323.
- [3] 张明俊. 铝-钽-硼中间合金两步生产法[J]. 轻金属,1989 (11):51.
- [4] 王芳,王明星. Al-B 中间合金对铝合金晶粒的细化机理[J]. 中国有色金属学报,2008(6):974.
- [5] 于亚鑫. 铝-硼-钽-硼中间合金研制[J]. 轻金属,1988 (5):30.

## The influence of modification and heat cycle on morphology and heat storage properties of Al-17%Si alloy

WANG Bo-qun, ZHANG Ren-yuan, ZHU Hai-yun

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** The effect of modification and melt-consolidation heat cycling on morphology and heat storage performance of Al-17%Si alloy using AlTi5B master alloys and phosphorus salts as the compound modifier was investigated by metallographic analysis and differential thermal analysis. It was found that the size of both the large block and strip shaped primary silicon was significantly reduced and angular passivated, and large acicular eutectic silicon was turned into granule after modification treatment of AlTi5B and phosphorus salts. The particle size of primary silicon was changed from small to large and latent heat value was decreased as well with the increase in the number of circulating between 480-620 °C.

**Key words:** AlTi5B master alloys; phosphor salt; Al-17%Si alloy; micromorphology; latent heat