

等温电磁搅拌对半固态 Al-25% Si 合金组织的影响

彭著刚, 张家涛, 樊刚, 戴浩, 郑晴, 孙淑红

(昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 研究了 Al-25% Si 合金在半固态等温电磁搅拌条件下合金显微组织的变化行为. 分别在 580℃、600℃ 下等温搅拌 0 min、10 min、20 min 和 30 min, 实验结果显示: 随着搅拌时间的增加, 初生硅发生细化, 尺寸明显变小且边角更加钝化, 分布也更加均匀; 当搅拌时间超过 20 min 后, 初生硅尺寸变化不大, 分布趋于均匀.

关键词: 过共晶合金; 电磁搅拌; 初生硅; 铝硅合金

中图分类号: U663.91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)01-0019-04

Effect of Isothermal Electromagnetic Stirring on Microstructure of Semi-solid Al-25% Si Alloy

PENG Zhu-gang ZHANG Jia-tao FAN Gang DAI Hao ZHENG Qing SUN Shu-hong

(Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract Variable action of Al-25% Si alloy microstructure is studied in the condition of isothermal electromagnetic stirring. The samples are isothermally treated 0, 10, 20 and 30 min at the temperatures of 580 °C and 600 °C. The results show that primary silicon crystal fragmentation occurs in the course of stirring, the size of the primary silicon crystal tends to be constant after 20 minutes and its phase tends to be in a homogenized distribution.

Key words hypereutectic alloy, electromagnetic stirring, primary silicon crystal, aluminum silicon alloy

0 引言

过共晶铝硅合金以其良好的耐磨性及热稳定性一直被认为是一种理想的耐磨耐热材料. 过共晶铝硅合金中初生硅的显微硬度很高, 为 HV 1000~1300 而 α (Al) 的显微硬度仅为 HV 60~100^[1]. 该合金是一种软基体上分布着硬质点的理想轻质耐磨结构材料, 其体积稳定性比亚共晶铝硅合金高, 因此它主要用于制造汽车、摩托车、拖拉机等发动机的活塞、汽缸衬套、汽缸盖等零件^[2].

随着硅含量的大幅度提高, 合金的铸造性能下降, 同时力学性能低、切削性能差的缺点也变得非常突出. 当前高硅含量的铝硅合金有两个突出问题影响其实际应用: 一是过共晶铝硅合金的初生硅呈板条状生长, 在循环应力条件下, 板条上应力集中会极大地降低材料的力学性能 (抗拉强度和抗疲劳强度); 二是初生硅硬度高, 使得合金机械加工成形性很差. 因此, 寻求一种可改变合金初生硅板条状结构, 无切削或少切削的近终成形方法来制备大过共晶铝硅合金制品对生产耐热耐磨类零件具有重要意义. 为了改善含硅量较高的过共晶铝硅合金的性能, 必须对初生硅进行细化处理. 本文采用等温电磁搅拌的方法来研究搅拌对过共晶铝硅合金显微组织的影响.

1 实验方法

实验材料选用 ZL102 合金和纯硅配制含硅 25% (质量分数) 的过共晶铝硅合金. 实验利用自制的电磁

收稿日期: 2005-02-28

第一作者简介: 彭著刚 (1975.9~), 男, 硕士研究生. 主要研究方向: 金属材料半固态成形. E-mail: pzhg005@163.com

搅拌装置对合金熔液进行搅拌,坩埚用保温材料保温,并利用可控发热管加热来确保温度稳定,使温度变化控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内。

实验分两组进行,第一组为:把坩埚预先加热至 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 后放入电磁搅拌装置中,然后把 760°C 的Al-25%Si合金液转入坩埚中,盖上坩埚盖,连接好测温热电偶,感应线圈通电开始搅拌,在金属液逐渐降温至 590°C 左右时,调节发热管电压的大小,使温度在 580°C 稳定后,开始进行等温搅拌;当等温搅拌时间分别为10min、20min和30min时,用坩埚取样,取样后立即进行淬火,以固定此时的半固态组织.第二组为:将 760°C Al-25%Si合金液转入坩埚中,开始搅拌后,在金属液逐渐降温到 610°C 左右时,调节发热管电压的大小,使温度稳定在 600°C ,开始进行等温搅拌,其它步骤和第一组相同.试样经粗磨、细磨和抛光,再经0.5%的HF水溶液浸蚀,在光学显微镜下观察合金的显微组织。

2 实验结果与分析讨论

2.1 第一组和第二组合金的组织演变分析与对比

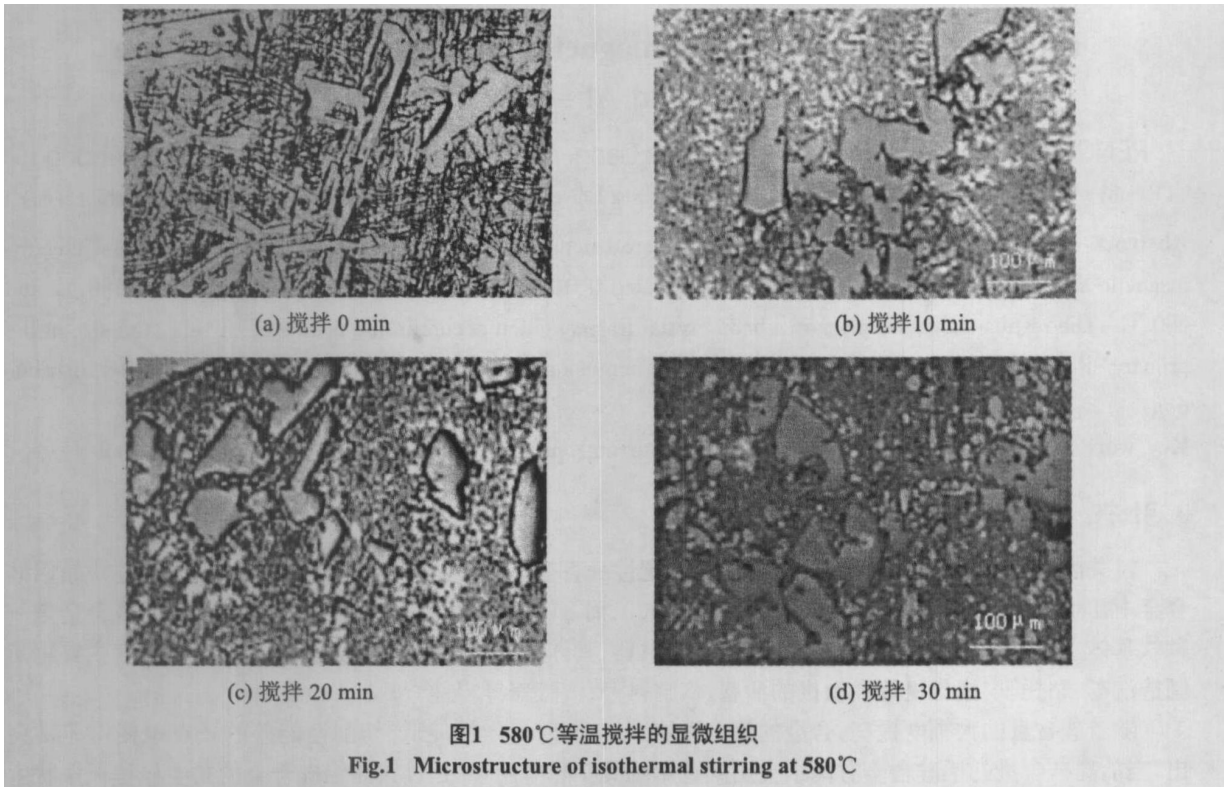
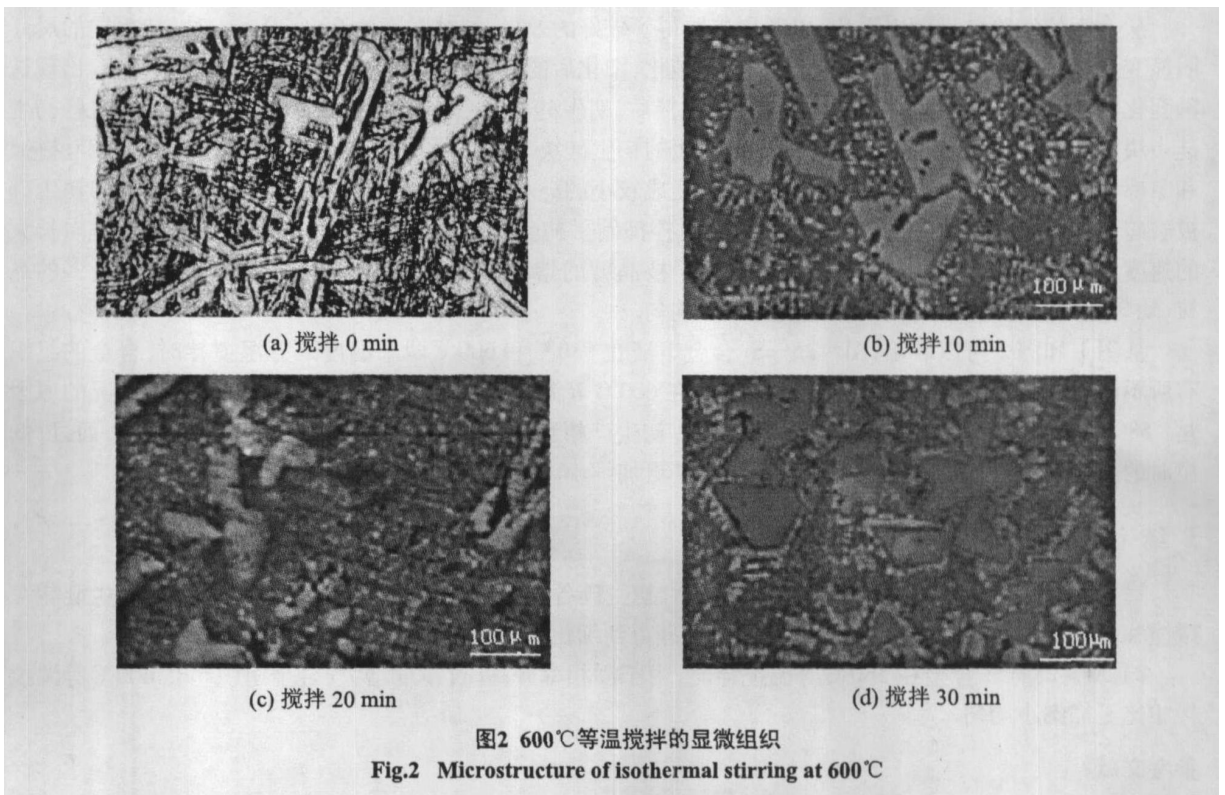


图1是Al-25%Si合金在 580°C 开始分别等温搅拌0min、10min、20min和30min的显微组织图.从图1(a)中可以看出,未搅拌时,初生硅呈长条状或块片状,长度约为 $150 \sim 200 \mu\text{m}$.经电磁搅拌10min后,从图1(b)中可以看出,初生硅长度明显变短,但和图1(a)相比,初生硅厚度增加,变成块状,而且分布不均匀.当搅拌至20min时,初生硅和图1(b)相比,发生细化,边角也有所钝化.当搅拌至30min时,初生硅如图1(d)所示,初生硅进一步细化,变成椭圆形或边角钝化的硅粒子均匀分布到周围的基体上.从图1可以看出,随着搅拌时间的延长,初生硅的分布变得更加均匀,初生硅的外貌菱角也变得更加圆润.当搅拌时间超过20min后,初生硅的尺寸和分布趋于稳定,初生硅的长度约为 $50 \sim 80 \mu\text{m}$.

图2是Al-25%Si合金在 600°C 开始分别等温搅拌0min、10min、20min和30min的显微组织.从图2可以看出,随着搅拌时间的增加,初生硅发生细化且变得更圆润,分布也更加均匀,和图1相同,当搅拌时间超过20min后,初生硅的尺寸和分布趋于稳定.但和图1相比,在每一个时间点上,Al-25%Si在 580°C 等温搅拌的初生硅显微组织比Al-25%Si在 600°C 等温搅拌的初生硅显微组织更细。



2.2 讨论

在电磁搅拌过程中, 金属熔体处于交变磁场 B 中, 磁场以一定速度 U 切割金属熔液, 就在其中产生感应电流^[3]:

$$I = \lambda e = \lambda(U \times B) \quad (1)$$

式中: I 为电流密度; λ 为电导率; e 为感应电势; U 为磁场运动速度, 即磁场运动速度与金属熔液流动速度之差; B 为磁感应强度.

该电流与当地磁场相互作用产生电磁力, 即为该处熔体所受到的电磁力 F :

$$F = \lambda(U \times B) \times B \quad (2)$$

从式 (2) 可以看出, 熔体所受的电磁力与磁场强度、电导率有关. 而 Al 和 S 的电导率是不同的, 对于初生硅而言, 其电导率很小, 受到的电磁力也很小, 可以认为在电磁搅拌下, 初生硅主要是在粘性液体的带动下运动的. 初生硅的细化和形貌变化有以下几种机制:

1) 枝晶臂机械折断机制: 过共晶铝硅合金中的初生硅并不是理想的单晶, 在初生硅中存在很多缺陷, 表现在初生硅板片上存在许多孔洞及薄弱的结合处, 另外, 在初生硅中还有孪晶、位错、亚晶界等缺陷存在. 在剧烈紊流作用下, 初生硅可能会在有缺陷的部位产生折断, 尤其当较长的初生硅板片与另一初生硅板片相碰撞时, 其撞击力足以使初生硅沿薄弱处折断^[4]. 在电磁搅拌过程中, 初生硅与初生硅及初生硅与液相发生剧烈的摩擦、碰撞, 这使初生硅的尖角处于高能状态, 使初生硅的尖角发生钝化.

2) 抑制初生硅的各向异性生长: 在强烈的电磁搅拌下, 促使初生硅各表面形成较多的机械孪晶, 有利于液相中的硅原子在初生硅择优生长方向的侧面沉积、生长, 使初生硅厚度增加, 抑制了初生硅的择优生长, 在初生硅长大的同时促使其向球团化转变^[5].

3) 枝晶熔断理论: 枝晶分枝在浓度或温度波动的扰动下发生熔断脱落而成为非均质核心. 液相的流动以及焦耳热的作用加剧了固-界面处的温度波动, 这就有可能使局部温度超过固相熔点而使枝晶臂熔断, 另外, 流动所引起的剪切或弯曲的作用力也加速了枝晶臂的熔断, 这些熔断的枝晶臂便起到晶核的作用^[6-8].

从上面的实验结果可以看出,电磁搅拌取得了较好的效果,搅拌时间为 20~30 min 时,初生硅的尺寸明显变小,分布更加均匀,初生硅的边角更加钝化,细化后的初生硅粒子均匀分布到周围的基体上.出现这种变化的原因是:1)在凝固过程中施以电磁搅拌后,初生硅和合金熔体在电磁力的搅拌作用下,这些初生硅小块或小板片由于自身的缺陷而折断成更短的初生硅块.初生硅和初生硅、初生硅和合金熔体相互碰撞和摩擦,尺寸较大的或较长的硅粒子被破碎,变成较小的硅粒子均匀分布到合金熔体中去,粗大的初生硅被破碎可以从其组织变化得到证实.2)由于搅拌抑制了初生硅各向异性生长,使初生硅向厚度方向长大的速度加大,变为团块状,但长度变短.3)由于枝晶臂的熔断,既阻止了晶核的长大,又形成了更多的晶核,均匀地分布在熔液中,使初生硅更加细小均匀.

从图 1 和图 2 可以看出,Al-25% Si 合金熔液在 580℃ 和 600℃ 两个温度下等温搅拌时,合金的组织有所不同,在 580℃ 等温搅拌时,合金组织与在 600℃ 等温搅拌相比更加细小均匀,出现这种情况的原因是:580℃ 时,熔体的固相率较 600℃ 时高,更多初生硅相互碰撞和摩擦,使初生硅更加细小均匀;而且,低温时的过冷度更大,更有利于形核,所以初生硅更加细小.

3 结论

1) 在电磁搅拌作用下,由于初生硅的折断、初生硅各向异性生长的抑制、枝晶臂的熔断、初生硅相互碰撞和摩擦等原因,过共晶铝硅合金中的初生硅得到细化,长度明显变短,分布更加均匀.

2) Al-25% Si 合金在 580℃ 等温搅拌时,由于固相率升高、过冷度增大,合金组织与在 600℃ 等温搅拌相比更加细小均匀.

参考文献:

- [1] 王德仁,毛卫民,李树索,等. Al-24% Si 合金半固态等温搅拌时的微观组织 [J]. 北京科技大学学报, 1998, 20(4): 336
- [2] 彭晋民,钱翰城. 铸态铸造铝硅合金的现状和发展 [J]. 铸造技术, 2000, (6): 32~34
- [3] 谢水生,黄声宏. 半固态金属加工技术及应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999
- [4] GARABEDIAN H, STICKLAND-CONSTABLE R F. Collision breeding of ice crystals [J]. Crystal Growth, 1974, 22: 188~192
- [5] 毛卫民,李树索,赵爱民,等. 电磁搅拌对过共晶 Al-Si 合金初生 Si 长大过程和形貌的影响 [J]. 材料科学与工艺, 2001, 9(2): 117~121
- [6] FLEMINGS M C. Behavior of metal alloys in the semi-solid state [J]. Metallurgical Transactions A, 1991, 22A(5): 957~981
- [7] MAO Wein, ZHAO Ain, LI Yanjun, et al. Temperature field and microstructure formation of semi-solid AlSiMg alloy [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 7(2): 99~102
- [8] MAO Wein, ZHAO Ain, Li Yanjun, et al. The formation mechanism of non-dendritic primary α -Al phase in semi-solid AlSiMg alloy [J]. Science and Technology of Advance Materials, 2001, 29(1): 97~99