

熔体搅拌 Al-12.0%Si 合金的组织细化^①

魏朋义 傅恒志

(西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 西安 710072)

Reif W

(柏林工业大学)

摘 要 通过研究不同熔体交变搅拌工艺对 Al-12.0%Si 合金微观组织的影响发现, 从高于熔点某温度开始对熔体的持续搅拌, 不仅可以球化、细化合金的初生相, 细化晶粒, 而且可以有效地细化共晶硅。这归因于熔体搅拌引起的熔体结构及特性的变化。

关键词 铝硅合金 熔体搅拌 凝固 细化

铝硅基材料的晶粒细化和共晶变质一直是广大铸造和凝固理论工作者研究的热点。Flemings M C 等^[1]于二十多年前提出半固态流变铸造工艺, 通过在半固态合金中引入机械作用使合金组织细化和分布均匀化。Joly^[2]等利用该工艺仅成功地改善了 Al-Si 亚共晶合金中初生铝的形态。介万奇^[3]发现一定的熔体运动可引起定向生长共晶硅的碎化。这说明高温熔体运动可能细化共晶硅。同时熔体搅动也是颗粒增强 Al-Si 基复合材料最简化制备方法的一个重要环节。本文试图探索利用持续熔体搅拌同时改善铝硅合金初生和共晶组织的可能性, 为进行 Al-Si 基材料改性研究及应用奠定科学基础。

1 实验方法

采用表 1 所示成分铝硅合金, 在图 1 所示熔体搅拌装置上实验。该装置利用电阻炉重熔、过热合金, 并控制熔体冷却条件; 利用搅拌体上下及高速可换向自转来搅动刚玉坩埚内的熔体。熔体搅拌方式分恒温与降温两种。熔体降温速度为 10~20 °C/min, 搅拌体旋转模式如图 2 所示。实验步骤为: 合金重熔,

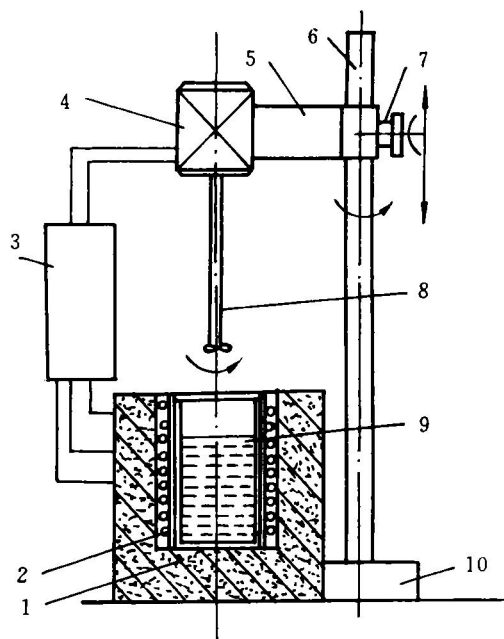


图 1 熔体搅拌装置示意图

- 1—保温层；2—加热线圈；
3—加热控制及电机调速系统；
4—交流电机；5—固定臂；
6—导杆；7—紧固法兰；8—搅动陶瓷棒；
9—坩埚及熔体；10—固定基座

① 收稿日期: 1995-01-03; 修回日期: 1995-04-03

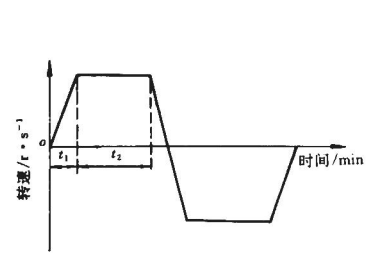


图 2 搅拌轴转速变化方式
($t_1=0.2\text{ min}$; $t_2=1\sim2.5\text{ min}$)

800℃, 1h 过热, 搅拌、静置, 在钢模中浇成 $\phi 40\text{ mm}\times 70\text{ mm}$ 锭。熔体搅拌工艺规范如表 2 所示。取铸锭中部纵、横截面制金相试片, 在 Neophot-2 型显微镜上观察组织, 进行截线法定量金相研究, 在 DSM910 数字式 SEM 上观察共晶硅立体形貌。微观腐蚀剂为 0.1HF%酒精溶液, 宏观腐蚀剂为 HCl:H₂O:HNO₃:

FeCl₃:CuNH₄Cl₃=200 mL:100 mL:180 mL
+60 g+25 g。腐蚀时间为 10 s~4 min。

表 1 合金光谱分析成分					
组元	Si	Fe	Cu	Sr	其它杂质
成分/%	11.64	0.142	0.005	<0.0001	0.0001 余

表 2 熔体搅拌工艺参数取值范围				
参量	转速 /r·s ⁻¹	搅拌温度 /℃	搅拌时间 /min	静置时间 /min
取值	4.0~4.5	580~850	1~50	2~30

2 实验结果

2.1 显微组织

实验发现:(1)无搅拌或搅拌未生效时,铸锭的典型组织为由初生树枝状铝和含片状硅的共晶组成的非均匀组织,如图 3a 所示。(2)当从低于 650℃某温度开始持续搅拌或恒温搅拌于 600℃以下某温度时,有效的搅拌主要促

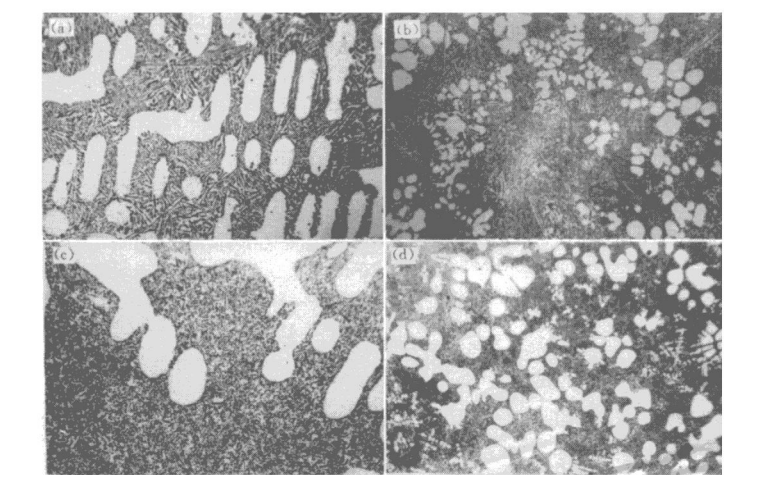


图 3 搅拌引起的铸态组织变化
(a)---无搅拌;(b) 650→580℃, 57.7 min;(c) 800℃, 5 min;(d)---800→610℃, 15 min

使初生铝相明显球化和细化,如图 3b 所示。(3) 当恒温搅动于 600℃ 以上时,搅拌将主要引起共晶硅细化和初生铝平均二次间距略微减少,见图 3c 及图 4。(4) 从高温到 580℃ 持续的搅拌可使初生和共晶组织同时改性,如图 3d 所示。且当持续搅拌起始温度于 700~800℃ 范围内取值时效果更好。(5) 搅拌作用的生效需要一定的孕育阶段,此后在一定的时间范围内随搅拌时间延长作用加强,再随后搅拌对时间延长则不敏感,见图 4,表 3。(6) 搅拌作用特别是对共晶硅的细化作用易于在搅拌后较高温度一定时间静处理后衰退,甚至失效。

各向同性增强,即侧面形成台阶、分枝,或呈曲面状生长,或呈特别堆积状态生长。这虽从形式上不同于掺杂变质致共晶硅纤维化和细化,但同样促使共晶硅分布均匀化和细化。

3 讨论

搅拌引起的熔体及其随后凝固特性十分复杂,目前人们尚难以全面解释^[5]。本文对搅拌引起的现象构想如下:从高于合金熔点某温度开始的熔体搅拌将可引起熔体依次完成四个演化阶段,并伴随两种重要现象:(1) 局部形核。即,搅拌引起强局部激冷作用可引起初生相,甚至次生相或组织在熔体局部的形核。此时熔体的平均温度仍较高。(2) 有限生长。即,新生晶体按常规生长或惯习生长成树枝状(非小平面相)或规则多边形(小平面相),此时晶体尺寸仍较小。(3) 形状非常化。即,晶体生长伴随着熟化、剪切变形和断裂、磨蚀、碰撞再聚积等行为,使熔体内晶体衍生基衬数目增加,形状非常规化。如,非小平面相形成玫瑰状或球状,小平面相会碎化或沿特定惯习再堆积或以特殊分枝等方式生长。同时可能由于初生相包容液相使其形状更复杂。(4) 局部凝固完成。当然,这四个阶段演化在熔体中相互穿插进行,难以明显分界,且强交互作用。该演化过程伴随着熔体冷却条件、搅拌工艺及晶体生长等物理特性,它最终决定了合金的组织特征。上述变化对时间的依存性则显然存在,即存在孕育、生效和失效时间效应特征。相关典型变化如图 6 示意。

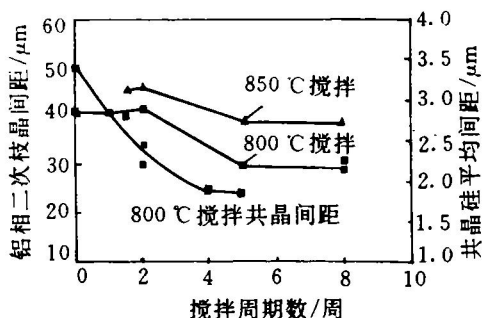


图 4 搅拌时间对组织特征尺度的作用

■—共晶硅间距; ▲—初生硅二次枝间距

2.2 SEM 共晶硅形貌

SEM 观察到如图 5 所示典型共晶硅形貌。可见,无搅拌时,Al-Si 合金中,硅依 {111} <211> 的系孪晶自衍生边角机制(Twin Plane Re-entrant Edge Mechanism, TPREM)^[4]生长成两侧光滑的大薄片;有效搅拌使共晶硅形状

表 3 搅动致组织变化特征参数

搅拌温度 /℃	590	650→580	700	800	800→610	800→580	850	850→580
搅动生效时间下限 /min	2~3.2	5~10	2.5~3.8	3.5~5	10~15	12~18	6~8	16~25
组织变化特征	初生铝球化	初生铝球化	共晶硅部分碎化	共晶硅碎化	共晶硅全碎化	共晶硅碎化初生铝球化	共晶硅碎化	初生铝球化共晶硅碎化
静置失效时间下降 /min	5~8	5~8	5~10	8~12	5~12	5~15	5~15	5~15

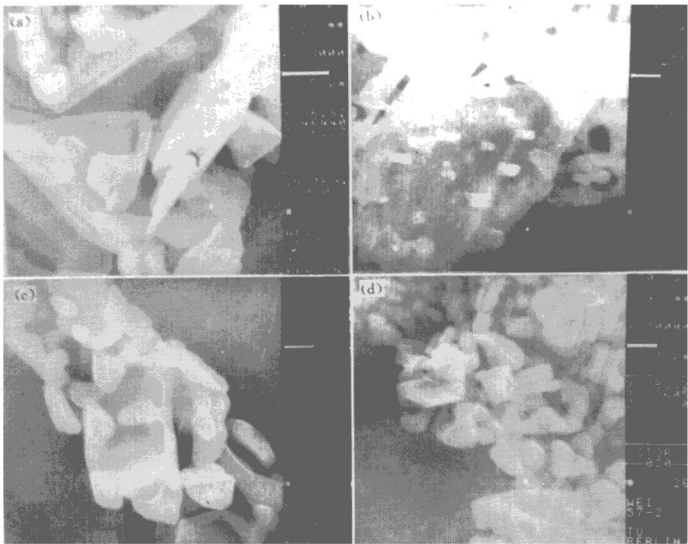


图5 SEM共晶硅空间形貌
(a)、(b)一附生台阶；(c) 曲面生长及分枝；(d) 块状堆积

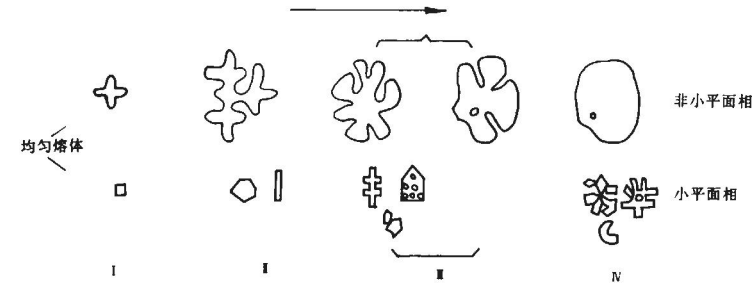


图6 搅拌致熔体内局部固化晶体形貌演化特征示意图

本文采用强交变搅拌，其作用较一般搅动要强，因而足够地搅拌会引起合金组织的明显改变。低温搅拌容易使熔体接近或进入半固态。因而搅拌致组织改性特征则如 Joly 等的结

果,即表现为初生铝的球化及细化,而共晶变化不大。这可能是因为低温条件下共晶硅没有充分的时间条件来演化。为什么高温搅拌的主要作用在于共晶硅细化?我们认为高温搅拌条件下初生铝与次生共晶两组成相可能同时发生上述演化,但由于高温条件下铝相相对于共晶硅相易于在静置和降温中回熔或按惯习继续生长,因而使铝相特别是初生铝相失去搅拌致演化特性,而共晶硅则保留细化和均匀化特征。搅拌致冷却增强作用引起初生铝二次间距减少。共晶硅的具体演化特性则与其本质生长特性和溶质分布场特性有关。只有把高、低温搅拌这两个过程结合的降温持续熔体搅拌工艺才能同时改性初生与共晶相组织。

本研究同时为不能掺杂细化的共晶系合金,特别是含小平面相的共晶系合金的组织改性提供了经验。

4 结论

采用从 700~800℃到 580℃持续的交变搅拌可使 Al-Si 亚共晶合金组织中的初生铝球化、细化;共晶硅细化,均匀化。这归功于搅动致熔体及其凝固特性的一系列改变。

参考文献

- 1 Spencer D B, Mehrabian R, Flemings M C. Metall Trans 1992, 23: 1925-1932.
- 2 Joly P A, Mehrahn R. J Mater. Sci, 1976, 11: 1393-1418.
- 3 Jie Wanqi. Metall Trans, 1992, 23A: 1363.
- 4 Hamilton D R, Seidensticker R G. J Appl Phys, 1960, 31: 1156.
- 5 Flemings M C. Metall Trans, 1991, 22A: 95-98.

MICROSTRUCTURE REFINEMENT OF Al-12.0% Si BY MELTS STIRRING

Wei Pengyi, Fu Hengzhi

Northwestern Polytechnical University,

State Key Laboratory of Solidification Processing, Xi'an 710072

Reif W

Berlin Technical University, Germany

ABSTRACT Various alternative melts stirring processings were employed to improve the microstructure of Al-12.0% Si alloy. It was found that continuous melts stirring from a temperature higher than the melting point of the alloy to one lower than that will lead to refinement and homogenization of primary aluminium and eutectic structure at same time. It was due to effects of this kind of melts stirring on melts structure and followed special solidification characteristics.

Key words Al-Si alloy melts stirring solidification refinement

(编辑 彭超群)