

文章编号:1007-6492(1999)02-0005-03

熔体预处理对过共晶 Al-Si 合金组织及性能的影响

关绍康, 沈宁福, 石广新

(郑州工业大学材料科学与工程系, 河南 郑州 450002)

摘要: 为提高合金材料的力学性能, 研究了熔体预处理对过共晶 Al-Si 合金的组织及性能的影响. 结果表明: 一定的熔体预处理工艺条件既能细化过共晶 Al-Si 合金中的初生硅, 又能细化共晶硅, 同时也可改善其显微组织的不均匀性, 使合金的力学性能得到明显提高, 即抗拉强度 σ_b 增加 43%~60%, 延伸率 δ 增加 19.5%~102%, 硬度 HB 增加 19%~26.6%, 并对熔体预处理的细化机理进行了初步研究.

关键词: 熔体预处理; 过共晶 Al-Si 合金; 组织; 性能

中图分类号: TC 113

文献标识码: A

随着汽车、摩托车工业的高速发展, 对发动机中的关键部件——活塞的要求越来越高, 这引起了国内外研究者的高度关注^[1]. 过共晶铝硅合金热膨胀系数小, 热稳定性高和耐磨性好, 因此是活塞材料的理想选择. 但它的结晶温度范围宽, 显微组织中易出现粗大的板条状初生硅, 这样, 既降低了机械性能, 又恶化了切削加工性能, 使其在工业生产中的应用受到一定的限制. 最近, 日本发现在合金中加入 P 和 Na 可达到同时细化的效果^[2], 但是工艺复杂, 要求严格. 所以, 迫切需要寻求一种新工艺来解决过共晶 Al-Si 合金细化的问题. 液态合金凝固时的状态直接影响着金属凝固后的组织和性能, 对液态合金的结晶状态进行研究和控制, 是改善材料组织、提高其性能的一个有效途径, 此研究引起了国内外的高度重视^[3,4]. 本文着重从熔体预处理出发, 研究其对过共晶 Al-Si 合金的组织特征及性能的影响.

1 实验方法

熔体预处理主要包括熔体温度处理、变质和细化等工艺. 本文主要研究熔体温度处理工艺, 研究方法是将一部分温度接近于过共晶 Al-Si 合金液相线的低温熔体与另一部分过热度较高的熔体进行快速混合, 从而形成一种温度接近于浇注温度的合金液, 然后浇入金属型, 形成试棒, 观察其金相组织, 并对性能进行测试. 具体研究技术路

线如图 1 所示.

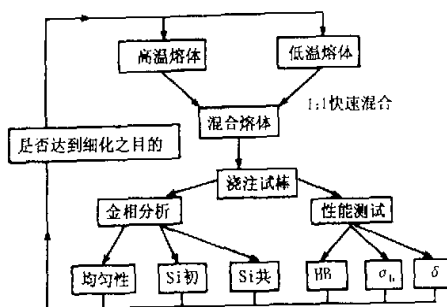


图 1 研究技术路线

1.1 合金配制

合金配制在配有 KSW-16 温度控制器的 SC₂-7.5-12 型电阻炉内进行. 选用 99.98% 纯铝和 99.99% 的纯硅熔配成含 Si 量为 18% (质量分数) 的过共晶 Al-Si 合金, 并将其浇注到预热温度为 250℃ 左右的金属型内. 使用 B 型快速热电偶的 WSC-A 微机数控测温仪对温度进行测量, 测量误差为 $\pm 2^\circ\text{C}$.

1.2 测试方法

金相组织采用 Keller 试剂浸蚀, 在 Olympus 金相显微镜上对合金进行金相分析. 性能测定采用 GB 6397-86 规定的试样尺寸, 在万能试验机上测定试样的 σ_b 和 δ , 硬度采用 HB-3000 布氏硬度计测定.

收稿日期: 1999-01-18; 修订日期: 1999-03-19

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(98404126)

作者简介: 关绍康(1962-), 男, 河南省开封市人, 郑州工业大学副教授, 博士, 主要从事新型高性能材料及其制备技术的研究.

2 实验结果与分析讨论

表 1 给出了不同熔体预处理工艺参数对初生硅尺寸及组织均匀性的影响,表中数据是分别将未混状态的高温熔体、低温熔体和混合状态的混合熔体,以 3 种不同的浇注温度在相同条件的金属型中制备 $\Phi 12$ mm 的铸锭分析得到的,把初生硅在试样边缘与中心处的尺寸差值作为评价组织均匀性的指标,从表中可知,未经过预处理的高、低温熔体所制备的初生硅尺寸较大,并且边缘与中心的初生硅尺寸的差值较大;经过预处理的混合熔体所制备的初生硅尺寸明显细化,并且边缘

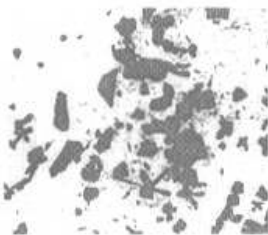
与中心的初生硅尺寸的差值较小,说明受冷却速度的影响不敏感,组织均匀性得到提高.这主要是因为预处理后熔体内部的过冷度增加所致.如图 2 所示,将 1013 $^{\circ}\text{C}$ 的高温熔体与 650 $^{\circ}\text{C}$ 的低温熔体快速混合,在 710 $^{\circ}\text{C}$ 下浇注形成铸锭组织最好,初生硅尺寸在 25 μm 以下,并且分布比较均匀,其组织为初生硅和共晶组织.另外,从表 2 中可以看出,经过预处理的熔体所制备铸锭的机械性能明显高于未经处理的高温或低温熔体所制备铸锭的机械性能,预处理后熔体的 σ_b 增加 43% ~ 60%,延伸率 δ 增加 19.5% ~ 102%,硬度 HB 增加 19% ~ 26.6%.

表 1 工艺参数与初生硅及组织均匀性之间的关系

状 态	A			B			C		
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{Si}_{\text{初}}/\mu\text{m}$		温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{Si}_{\text{初}}/\mu\text{m}$		温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{Si}_{\text{初}}/\mu\text{m}$	
		边缘	中心		边缘	中心		边缘	中心
高温熔体	900	110	150	950	120	170	1013	150	220
低温熔体	750	100	130	700	90	110	650	50	80
混合熔体	786	40	50	736	35	42	710	20	25



(a) 高温熔体(1013 $^{\circ}\text{C}$) $\times 100$



(b) 低温熔体(650 $^{\circ}\text{C}$) $\times 100$



(c) 混合熔体(710 $^{\circ}\text{C}$) $\times 100$

图 2 不同状态下的显微组织特征

表 2 熔体处理状态与力学性能之间的关系

状态	σ_b/MPa	$\delta/\%$	HB
高温熔体(1013 $^{\circ}\text{C}$)	112.50	1.82	68.9
低温熔体(650 $^{\circ}\text{C}$)	126.20	3.08	73.4
混合熔体(710 $^{\circ}\text{C}$)	180.19	3.68	87.2

对熔体预处理的细化机理进行了初步研究,将一部分低温熔体与一部分高温熔体相混,低温熔体被迅速加热,高温熔体被迅速冷却,这样所形成的熔体就既具有高温熔体的性质,又具有低温熔体的性质.尽管在高温熔体中,原子团簇小而分散均匀,但在其后的凝固结晶过程中,由于散热不理想,即使有部分自发形核的细化作用,但总体来说内部组织大多数是由粗大的板条状初生硅和针状硅组成.低温熔体中尽管有异质形核的作用,但由于晶核的迅速长大而导致最后的组织粗大.快速混合后,高温熔体由于被低温熔体冷却而改善

了散热条件,使熔体内的预结晶原子团簇能够在基本相同的过冷度下结晶形核;低温熔体由于被高温熔体加热,异质形核的长大受到抑制.高温熔体与低温熔体的混合,既克服了高、低温熔体各自的缺点,又利用了两者的优点,从而达到细化初生硅和共晶硅的目的,并且组织由熔体内部的过冷度的增大所控,形成均匀的组织.

原子团簇(Cluster)是由原子团所构成的相对稳定的集团,原子团簇的产生是熔体中复相起伏的结果.可以设想熔体中事实上存在着熔点附近的类固体结构,分散在液态的基体中,有着类似于溶质分散于溶剂中的性质,即溶液的性质.假设过共晶 Al-Si 合金的液态熔体属类似的非理想溶液,这两种不同温度的合金液混合时,其混合的自由能中必须考虑混合热 ΔH ,这决定于原子大小效应、电子结构效应及化学键能效应.应用溶液的

准化学模型进行分析,准化学模型只考虑邻近原子之间的键能,因此只是对 ΔH^M 近似处理,设每对 A-B 原子间的键能为 u_{AB} ,B-B 间的键能为 u_{BB} ,A-A 间的键能为 u_{AA} ,并设原子相隔无限远时,其键能为0,则 u_{AA} 、 u_{BB} 、 u_{AB} 均为负值,设晶体中原子的配位数为 Z ,原子分数 $X_A = n_A/(n_A + n_B)$, $X_B = n_B/(n_A + n_B)$,原子数 $N_0 = n_A + n_B$.

可知 $\alpha' = ZV_0[U_{AB} - \frac{1}{2}(U_{AA} + U_{BB})]$, (1)

$$\Delta H^M = \alpha' X_A X_B, \quad (2)$$

则 $\Delta H^M \neq \Delta S^M = \Delta S^{\text{理想混合}},$

$$\Delta H^M = G^{\text{混合}} = \alpha' X_A X_B = RT\alpha X_A X_B, \quad (3)$$

而 $\alpha = \alpha'/RT,$ (4)

$$\Delta \mu_A^M = \Delta G^M + X_B \frac{d(\Delta G^M)}{dX_A},$$

$$\Delta \mu_B^M = \Delta G^M + X_A \frac{d(\Delta G^M)}{dX_B},$$

$$\text{则混合热 } \Delta H^M = \Delta H^M + X_B \frac{(\partial \Delta H^M)}{\partial X_A}, \quad (5)$$

对于过共晶 Al-Si 合金,其 $\alpha' < 0, \alpha < 0$
故有 $\Delta H^M < 0, \Delta H^M < 0$.

由此可以定性说明,高温熔体与低温熔体混合后是吸热的,据此,可增大合金液在凝固过程中的过冷度,由晶核的临界半径与过冷度之间的关系 $\gamma'_k = \frac{2\sigma_{sl} \cdot T_M}{L_m \Delta T}$ 和过冷度与体积自由能的变化之间的关系 $\Delta G_v = L_m \cdot \Delta T/T_M$ 可知,随着过冷度的增大,临界晶核半径减小,体积自由能的变化增大,结晶过程中的驱动力增加,有利于形核,在结晶温度范围内,过冷度的增大,将促使形核速度增

加,从而细化初生硅。

3 结论

(1) 对过共晶 Al-Si 合金进行预处理,既能细化初生硅,又能细化共晶硅,并且也可改善显微组织的均匀性,受冷却速度的影响不敏感。

(2) 过共晶 Al-Si 合金预处理的最佳工艺参数为:高温熔体温度为 1013℃,低温熔体温度为 650℃,比例为 1:1,混合熔体温度为 710℃,此时,获得初生硅尺寸大小平均为 22 μm。

(3) 经过预处理的过共晶 Al-Si 合金与未经过预处理的合金相比,其抗拉性能 σ_b 增加 43%~60%,延伸率 δ 增加 19.5%~102%,硬度 HB 增加 19%~26.6%。

参考文献

- [1] 张卫文,尹志民,陈小群等.磷在过共晶高硅铝合金中的存在形式及其变质机制[J].中国有色金属学报,1994,4(6):229-232.
- [2] OHMI T, KUDOH M. Undercooling and solidification behavior of fluid clumps of second-poured melt of hypereutectic Al-Si alloy in duplex casting process[J]. J Jpn Inst Light Met, 1994, 44(2): 91.
- [3] ESKIN D G. Effect of melt overheating on primary solidification in aluminium alloy[J]. Z Metallkd, 1996, 87(4): 295.
- [4] GEN Hao-yan, MA Jia-ji, BIAN Xiu-fang. Thermal rare treatment and its effect on modification of Al-Si alloys[J]. Trans Nonferrous Met Soc Chin 1991, 7(1): 137-141.

Effect of Melt Pretreatment on the Microstructures and Their Properties in Hypereutectic Al-Si Alloy

GUAN Shao-kang, SHEN Ning-fu, SHI Guang-xin

(Department of Materials Science & Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The effect of melt pretreatment on microstructures and their properties in hypereutectic Al-Si alloy has been studied. It is shown that the primary silicon and eutectic silicon in Al-Si alloy have been greatly refined in the optimum melt pretreatment condition. Meanwhile, the mechanical properties and microstructures in hypereutectic Al-Si alloy have been obviously improved, i. e. σ_b is increased by 43%~60%; δ is increased by 19.5%~102%; HB is increased by 19%~26.6%. Furthermore, the refining mechanism of melt pretreatment is primarily studied.

Key words: melt pretreatment; hypereutectic Al-Si alloy; microstructure; property