

文章编号: 1003-7837(2003)01-0051-04

铝硅合金中铁相存在的形态及影响其形成的因素

周晓霞^{1,3}, 张仁元¹, 刘银菊²

(1. 广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510090;

2. 陕西精密合金股份有限公司技术处, 陕西 西安 710077;

3. 广东省粤科风险投资集团有限公司资产管理部, 广东 广州 510070)

摘要: 铁是铝硅合金中最为常见的杂质, 通常以 β -铁相存在, 对合金的力学性能有很大影响. 降低铝硅合金中的铁含量, 或使铁以 α -铁相形式存在, 可消除铁的有害影响. 目前, 减少 β -铁相的方法主要有: 加入锰、钴、铍等中和元素; 熔体过热法; 提高冷却速率等. 要消除或减少铁在铝硅合金中的有害影响, 必须综合考虑施用各种方法.

关键词: 铝合金; 铁; 晶体形态学

中图分类号: TG111.5

文献标识码: A

铁是铝硅合金中最为常见的一种杂质, 通常以粗大针状晶体割裂基体, 损害合金的力学性能, 对铝硅合金的强度与塑性、铸造性能、抗腐蚀性能、切削加工性以及高温性能等均有影响. 因此, 有必要对此进行深入的研究和讨论, 以便采取有效措施消除铁对铝硅合金性能的影响.

1 铁在铝硅合金中存在形态的分析

在铸造的铝硅合金中, 常见的有 α -铁相(α - Al_3SiFe_2)和 β -铁相(β - Al_3FeSi)两种. α -铁相的组织形貌为汉字或骨骼状等, β -铁相为针状(立体为片状). 其晶体结构分别为六角晶型(立方晶型)和单斜晶型^[1,2]. 所谓的 α 相和 β 相是从相图角度说的, 它们对应各自的晶体结构和成分组成; 而针状和汉字状则是从微观形貌上区分的. 但是 α 相并不总是以汉字状出现, 还会有鱼骨状、星形、多边形、块形等^[1], 同时 β 相也不总是以针状出现, 尤其在均匀化热处理后, 单从形貌上更难以区分.

研究表明^[1], 以针状存在的铁相对合金的力学性能非常有害, 而以汉字状存在的铁相其有害作用表现就不明显. 在正常凝固条件下, 铁更倾向于以针状相结晶, 而且这种针状的铁相又易粗大化. 针状铁相对合金力学性能的影响程度, 与合金的含铁量有关. 只有当含铁量增加到

收稿日期: 2002-10-21

作者简介: 周晓霞(1973-), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生.

使针状铁相的数量和尺寸达到一定程度时,才开始对合金的力学性能起作用. 另一研究^[3]表明, β -铁相只是在以初晶形态存在时,才对合金的性能有害;当 β -铁相只是共晶组织的一部分时,铁相的有害作用几乎可以忽略,甚至有益.

2 影响铝硅合金铁相的因素

从文献资料来看,控制铁相形貌使之以 α -铁相形式析出的方法主要有:加入中和元素^[4,5]、熔体高温过热^[6]、改变冷却速率^[3]等.

2.1 中和元素的影响

中和铁相是指加入特定的合金元素,通过促使汉字状等形态的 α -铁相组织的生成来抑制片状铁相的生成,并以此来改善合金的强度、塑性和物理性能等. 可以作中和剂的元素很多,最常用的是锰,其次还有铍、钼、铬、锆、硫等. 这些元素都能不同程度地把针状铁相改变成为汉字状铁相^[1]. 加锰能大大减少 β -铁相的数量和尺寸,甚至使 β -铁相完全消失. 一般而言,锰的加入扩大了 α -铁相区,使得即使在铁含量较高的情况下,汉字状的 α -铁相也可能出现^[3]. 当合金中含锰时, α -AlFeSi 铁相是稳定相;对 AlFeSi 三元合金来说, α -Al₃SiFe₂ 是准稳定相;对 AlMnSi 三元合金来说,Al₁₂Mn₃Si₂ 是稳定相. 一般来说,抵消铁有害作用所需的锰量没有定论. 在 ZAlSi₁₃ 合金中,当 $w(\text{Fe}) < 1.5\%$,添加 $w(\text{Mn}) = 0.5\%$ 可抑制 β -铁相生成. 当 $w(\text{Fe}) < 1.9\%$ 时,按 $w(\text{Mn}) = 0.8w(\text{Fe})$ 添加 Mn,可抵消 $w(\text{Fe}) > 1.0\%$ 时 β -铁相所引起的脆性;用于砂型和金属铸造的铝硅合金,一般推荐按 $w(\text{Mn}) = 2[w(\text{Fe}) - 0.5\%]$ 添加 Mn^[3]. 在 ZAlSi₈Cu₃ 合金中,按 $m(\text{Mn}) : m(\text{Fe}) = (0.6 \sim 0.7) : 1$ 添加锰,可提高合金的强度和延伸率,但降低了合金硬度. 总之,通过适当添加锰,可以逐渐减少 β -铁相粒子的数量和尺寸,直至根本不出现 β -铁相.

钴的作用与锰相似,但加入量要稍高,以促使富铁相成球形. 由于钴的凝固偏析系数很小,所以,钴所产生的合金性能优于锰^[5].

在 Al-7Si-0.3Mg 合金中,铬也能使粗片状的 β -Al₃FeSi 转变为汉字形貌的 α -Al₃(Fe,Cr)₄Si₄Mg 铁相^[7].

在已知的一些对铁相形貌有改善作用的元素中,钼的加入量只需锰的十分之一^[7]. 铍用于改善铁相所需的量也较锰、铬等低很多. 加入铍或者同时加入铍和锰铬,可大大减少中和元素的总加入量,同时,也减少了形成富铁中间相的量^[7,8]. 然而钼和铍的价格都较昂贵,选用这类元素作为添加剂,会增加生产成本;另外,铍还是一种有毒元素,虽然铸件中铍的使用量远不会对人体造成有害影响,但考虑环境保护和身体健康等因素,还是应该限制其使用.

必须注意的是,尽管中和元素能抑制 β -铁相生成,减少或消除 β -铁相,但中和元素并不能完全消除铁相的有害作用. 首先,它们仍然不能完全除去合金中的铁,且合金中富铁相总的比例随铁量的增大而增大,这使得合金的塑性下降;其次,中和元素还可能带来其他的副作用.

2.2 熔体过热的影响

浇注前使熔体过热能减少富铁相的形核核心. 在低的熔化温度下形成的 $\gamma(\text{Al})$ 相(形成温度 $t \leq 750^\circ\text{C}$)是 β -铁相的形核核心. 而在充分过热的条件下, $\gamma(\text{Al})$ 相就转化为 $\alpha(\text{Al})$ 相,从而抑制 β -铁相的出现^[3]. 国内外的专家发现^[5,8],随着合金熔体过热度增加,铸件中富铁的金属间化合物颗粒变得精细. 当铝液温度超过 800°C 时,合金中的片状 β -铁相就转变为汉字状的 α -铁相. 熔体过热改变铁相在很大程度上还依赖于其他因素,如合金成分、冷却速率等^[10].

含硅量低、含有镁或冷却速率不够快,都有可能降低过热作用的影响^[11]。同时,还要注意,熔体过热也会带来一些负面影响:当熔体过热到较高温度时可能会引起合金元素的烧损,吸气甚至影响炉体的使用寿命;较高的熔体温度会使熔炼操作过程更易增铁。

2.3 冷却速率的影响

适当的冷却速率与添加中和元素的作用类似,都是通过提高临界铁含量来阻止 β -铁相的形成。 β -铁相为平衡凝固的产物。研究表明^[5],低冷速(0.1℃/s)有助于 β -铁相的形成,而高冷速(10℃/s)却抑制 β -铁相的生成。当冷速很小时,富铁相更倾向于形成针状 β -铁相。因此,要减少铁相的有害作用,可通过提高冷速来抑制针状 β -铁相的出现。正是由于这个缘故,铁对砂型铸造的危害比金属型铸造要大很多。但是也有论文指出^[3],在很高冷却速率下(20℃/s),却促使 β -铁相的形成,这其中的原因到现在还是众说纷纭。因此,要想达到减少富铁相生成 β -铁相的目的,还需要选择适当的冷却速率。

从以上各因素对铝硅合金中铁形态的影响可以看出,人们可以通过改善铁相的形态来减少铁对铝合金的有害作用。其实单从理论上讲,消除铁相最直接也是最好的办法是将多余的铁从铝合金熔体中去除。采用沉降法和过滤法对富铁铝合金进行净化^[12]以及采用离心分离法除铁^[13]都有一定的效果。目前,生产的铝硅合金的允许含铁量较低,生产中除要避免铁相以针状析出外,更不允许有初生铁相的出现。通常情况下,沉降或过滤的效率都比较低。怎样提高这些方法的除铁效率也是我们今后重点研究的课题。

3 结 语

铝硅合金是最常用的铸造铝合金。它具有优良的铸造性能,较高的强度而得到广泛的应用。铁通常是在铸造熔炼过程中进入铝液中的,在铝硅合金中主要以铝硅铁金属间化合物形式存在,常见的有 α -铁相和 β -铁相两种。 α -铁相的组织形貌为汉字状或骨骼状等, β -铁相为针状(立体为片状)。铁相以针状形式存在,对合金的力学性能有害,以汉字状(或骨骼状)形式存在时其有害作用就不明显。通常情况下,铁相更容易以针状铁相形式出现。针状铁相对合金力学性能的影响程度,与合金中的含铁量有关。只有当含铁量增加到使针状铁相的数量和尺寸达到一定程度时,才开始对合金的力学性能起作用。

消除铁有害影响有两种途径:一是设法降低铝硅合金中的含铁量;二是避免针状铁相的产生,或使铁相以 α -铁相的形式存在。影响铁相形貌的因素有中和元素、熔体过热、冷却速率。我们分析问题时不能把这些影响因素割裂来看,而是要综合考虑。关于这些因素对铝硅合金中铁相微观结构的影响,人们已经有了一定的认识,但对其作用机理的认识还不是很统一,也不够深入和透彻,因此有待于大家的进一步研究和讨论。

参考文献:

- [1]《铸造有色合金及其熔炼》联合编写组. 铸造有色金属及其熔炼[M]. 北京:国防工业出版社,1980,13—20.
- [2]李双寿,吴群虎,朱跃峰,et al. 中间合金对 A356.2 合金细化的效果[J]. 特种铸造及有色合金,2000,(1):23—25.
- [3] Narayanan L A, Samuel F H, Gruzleski J E. Crystallization Behavior of Iron-Containing Intermetallic Compounds in 319 Aluminum Alloys [J]. Metallurgical and Materials Transactions, A 1992 ,

- (25A):1761.
- [4] Couture A. Iron in Aluminum Casting Alloys-A Literature Survey[J]. AFS Transactions, 1981, (11):9-17.
- [5] Crepeau P N. The Effect of Processing and Microstructure on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy[J]. AFS Transaction, 1995, (103):361-366.
- [6] Awano Y, Shimizu Y. Non-Equilibrium Crystallization of AlFeSi Compound in Melt-Superheated Al-Si Alloy Castings[J]. AFS Transactions, 1990, (176):889.
- [7] 孙业赞, 张国伟, 于敞, et al. 铁在铝硅合金中存在的形态及其作用分析[J]. 铸造, 1998, (7):42-46.
- [8] 孙宝德, 李克. 镧、钇稀土在过共晶铝硅合金中的作用[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(7):795-798.
- [9] Kanicki D P. Processing Molten Aluminum Cleaning up Your Metal[A]. 第 61 界世界铸造会议特刊[C]. 沈阳:《铸造》杂志社, 1995. 43-67.
- [10] 印飞, 杨江波, 王亦新, et al. 消除铝硅合金中铁相有害作用的方法分析[J]. 热加工工艺, 2000, (3):61-63.
- [11] 印飞, 李振, 杨江波, et al. 铝硅合金中铁相的凝固行为及其影响因素[J]. 热加工工艺, 2001, (5):35-38.
- [12] 房文斌, 耿耀宏, 叶荣茂. 铸造铝合金复合净化法的研究[J]. 铸造技术, 1996, (2):8-10.
- [13] Hiromi Matsubara, Norihisa Izawa, Masura Nakunishi. Macroscopic Segregation in Al-11 Mass-Si Alloy Containing 2 Mass-Fe Solidified under Centrifugal Force[J]. Journal of Japan Institute of Light Metals, 1998, 48(2):93-97.

Effect of various factors on morphology of iron phase in Al-Si alloy

ZHOU Xiao-xia^{1,3}, ZHANG Ren-yuan¹, LIU Yin-mao²

- (1. Faculty of Materials and Energy of Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China;
2. Shanxi Precision Alloy Co. Ltd., Xi'an 710077, China;
3. Assets Management Dept. Guangdong Technology Venture Capital Group Co., Ltd. Guangzhou 510070, China)

Abstract: Iron is the common impurity in Al-Si alloy. β -iron phase, usually existing in the alloy, effects its mechanical properties directly. When decreasing the content of iron in Al-Si alloy, or keeping α -iron phase existing, we can eliminate the bad influence of iron. At present, the main methods of reducing the amount of β -iron phase are as follows: adding the neutralized elements (such as Mn, Co, Be, etc.), overheating molten liquid, raising the cooling speed and so on. In order to eliminate or reduce the bad effect of iron in Al-Si alloy, many ways should be employed combinatively.

Key words: aluminum alloys; iron; crystal morphology