

Sr 变质剂对石膏型精铸 ZL114A 合金组织与性能的影响

许广涛¹, 王狂飞², 周志杰¹, 张锦志¹, 史小宝¹, 钱金亮¹

(1. 河南平原光电有限公司, 河南焦作 454001; 2. 河南理工大学材料科学与工程学院, 河南焦作 454000)

摘要: 通过ZL114A合金熔体添加和未添加Sr变质剂, 研究了熔体处理条件对石膏型精铸热处理试样显微组织及力学性能的影响。结果表明, 未变质铸态试样力学性能好于变质试样, 而未变质热处理试样力学性能稍差, 其主要原因在于Si相热变质不太充分。由于变质试样疏松缺陷很难消除, 因此, 对于ZL114A合金石膏型复杂薄壁件, 采用未变质处理不失为一种选项。

关键词: 铸ZL114A合金; 石膏型精铸; Sr变质; 力学性能

Al-Si合金复杂薄壁件^[1-6], 因壁薄、结构复杂等特征, 采用常规重力铸造很难保证薄壁部位精确成形。由于石膏型保温性好, 微细结构的复制能力强, 石膏型熔模铸造已成为铸造这类铸件的一种或者唯一成形方法。但是, 对于此类铝合金铸件, 若采用石膏型精铸工艺, 由于铝液凝固速度慢, 加之铸件壁厚不均, 铸造过程中很容易在热节处产生疏松、气孔等铸造缺陷。此外, 由该工艺生产的铸件批量小, 一炉铝液所浇铸件品种多, 浇注时间长(2~3 h), 因此, 工厂采用抗衰退性好的Sr盐作为变质剂, 但由于Sr变质使铝液糊状区的凝固时间明显变长^[5-6], 因而, 加重了铸件中疏松、气孔等铸造缺陷的形成趋势, 由此给该类铸件铸造工艺制定带来很大难度。与Sr变质处理铝液相比, 未变质处理时铝液糊状区的凝固时间明显减少, 但是, 铸造显微组织中共晶Si形貌很难令人满意。为此, 本文拟通过ZL114A合金熔体变质或者未变质处理, 研究两种熔体处理效果对拉伸试样显微组织和力学性能的影响, 进而通过后续热处理工艺^[7-8], 研究未变质试样Si相热变质效果对合金力学性能的影响。

1 试验方法

试验所用试样结构为 $\Phi 6 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的棒状试样, 采用底注式浇注系统(图1a), 石膏型真空浇注加压凝固, 变质处理前和变质处理后分别浇注1件。试验用原材料选用ZLD114A预制铝合金锭。将铝合金锭放入电阻炉中坩埚里进行熔化, 熔化后温度升至720 °C时, 加入细化剂Al-5Ti-1B, 去渣后对第一件石膏型进行真空浇注+加压凝固(未变质)。接着, 在熔体温度为720 °C时加入XHGD颗粒状变质剂[经扫描电镜能谱分析(EDS), 含Na、Sr等变质元素(图1b)], 然后升温到740 °C进行氩气精炼(精炼时间5 min, 通气量0.8 m³/h), 去渣处理并进行第二件石膏型浇注[变质-精炼(变质)]。两个铸件浇注条件均为: 浇注温度为720 °C, 真空度为60 kPa, 加压压力700 kPa, 铸型预热温度150 °C。浇注结束后, 将所浇铸件(图1c)截取得到棒状试样, 对其中6根试样直接进行铸态拉伸, 另6根经T5热处理(535 ± 5 °C/3 h/165 ± 5 °C/5 h)后拉伸。测试结束后在试样中心部位取样进行显微观察。

2 试验结果及分析

2.1 试样铸态和热处理后显微组织分析

图2给出了ZL114A合金未变质试样铸态和热处理后显微组织。由图2可见, 未变

作者简介:

许广涛(1975-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为精密铸造技术。E-mail: pgzzgtxu@163.com

中图分类号: TG146.21
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2019)08-0867-05

基金项目:
河南平原光电股份有限公司资助项目(H14-017)。
收稿日期:
2019-03-21 收到初稿,
2019-04-24 收到修订稿。

质铸态试样中Si相基本为条状或针状结构,且针状较大较长(图2a、b),有块状或网状富Fe相(图2c);经热处理后, α -Al枝晶变得较为清晰(图2d),Si相大部分变质为短棒状或纤维状(图2e),同时依然可见针状Si相固溶处理时被溶解的痕迹,在部分区域也发现呈网状的富Fe相,应为 π 相等富Fe相(图2f)。

2.2 变质试样铸态和热处理后显微组织分析

图3给出了ZL114A合金变质试样铸态和热处理后显微组织。由图3可见,变质铸态试样中, α -Al枝晶晶界清晰可见(图3a),试样中缩松缺陷较为明显(图3b),共晶Si呈纤维状或短棒状结构(图3c);经热处理后,低倍视场下 α -Al晶界相比铸态较为模糊(图3d),高倍视场下Si相大部分变为颗粒状,同时少量Si相已粗化(图3f)。

2.3 ZL114A合金试样的力学性能分析

图4和表1分别给出了具有代表性未变质和变质试样应力-应变曲线及相应的力学性能。由图4和表1可见,不论铸态或热处理试样,变质精炼处理后合金的抗拉强度均稍好于未变质试样,但也可看到,未变质铸态合金伸长率比变质试样要好,考虑到变质无效拉伸试样数量较多,因此,整体来说,未变质铸态试样力学性能好于变质试样。

2.4 试验结果分析

图5给出了ZL114A合金未变质和变质铸态与热处理试样拉伸断口形貌。由图5可见,未变质铸态试样断口中缩松很少,断裂微观机制主要为解理断裂,长条状或针状Si相清晰可见(图5a),裂纹形核主要源于长条状Si相,力学性能较低;而热处理后,由于热变

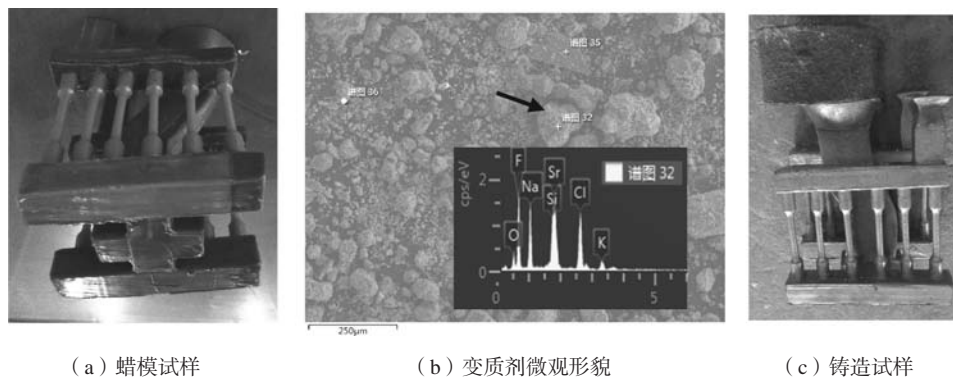


图1 ZL114A合金蜡模试样、所用变质剂形貌及铸造试样
Fig.1 Wax patterns, modifier morphology and cast specimens of ZL114A alloy

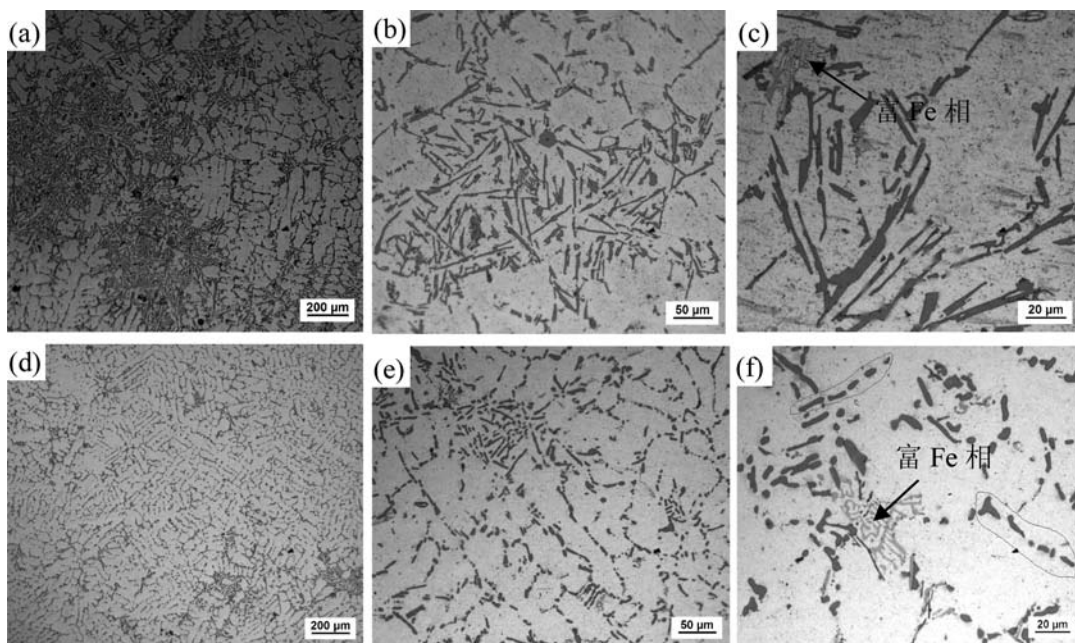


图2 未变质试样铸态(a-c)及热处理组织(d-f)
Fig. 2 Microstructure of unmodified ZL114A specimens: (a-c) As-cast, (d-f) heat treated

质使Si相溶断或尖端变得圆整(图2f),加之Mg₂Si等强化相弥散析出,试样断裂微观机制为解理+微孔聚集型断裂(图5b),其力学性能明显提高。因此,对于未变质试样,因熔体中仅加入Al-Ti-B细化剂,共晶Si相形貌与原材料相同未发生改变,热处理试样力学性能取决于Si相热变质是否充分。在变质铸态试样断口中,其中心有明显的缩松(图5c),而且数量较多,试样受拉时很容易在这些缺陷位置产生应力集中,并成为裂纹源和裂纹扩展的通道,断裂微观机制主要为解理断裂。热处理后,一方面,共晶Si因Si的溶解和扩散而变为颗粒状(图3f);另一方面,缩松(图5d)边缘有Mg₂Si弥散析出,使缩松边缘明显得到强化,裂纹扩展较为困难,试样断裂微观机制主要为微孔聚集型断裂,其力学性能明显提高。因而,对于变质试样,

因熔体变质处理过程中很容易产生如Al₂SrO₃等氧化夹杂,而这些氧化夹杂很难经氩气精炼处理干净,凝固时,试样中很容易形成缩松缺陷,热处理试样力学性能主要取决于拉伸时缩松边缘显微组织能否强化。

未变质铸态试样和变质相比,缩松缺陷少,在拉伸时微裂纹更难形成,因而其伸长率好于变质试样,但由于未变质铸态试样中Si相为长条状且端部尖锐,富Fe相较多,因此,未变质热处理时,Si相形貌很难变为颗粒状,加之富Fe相难以分解,未变质热处理试样力学性能差于变质试样,这从另一方面反映出熔体处理对Si相形貌和缩松缺陷影响的重要性。

铝合金石膏型生产实践中,铝液中加入变质剂时,很难避免熔体不被污染,铸件中缩松缺陷很难完全消除,因而,有时为了使铸件力学性能满足设计要

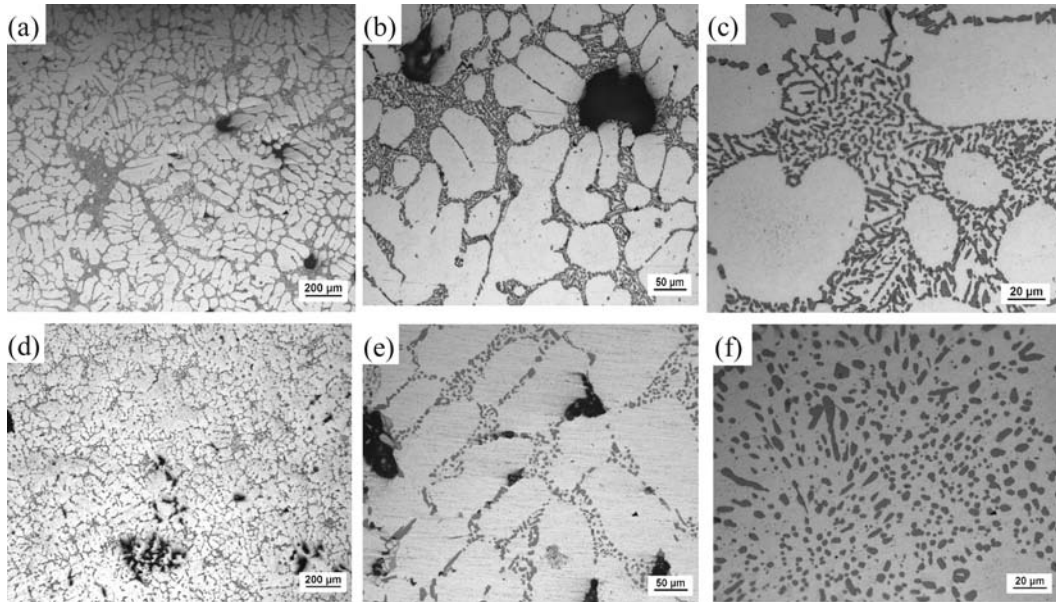
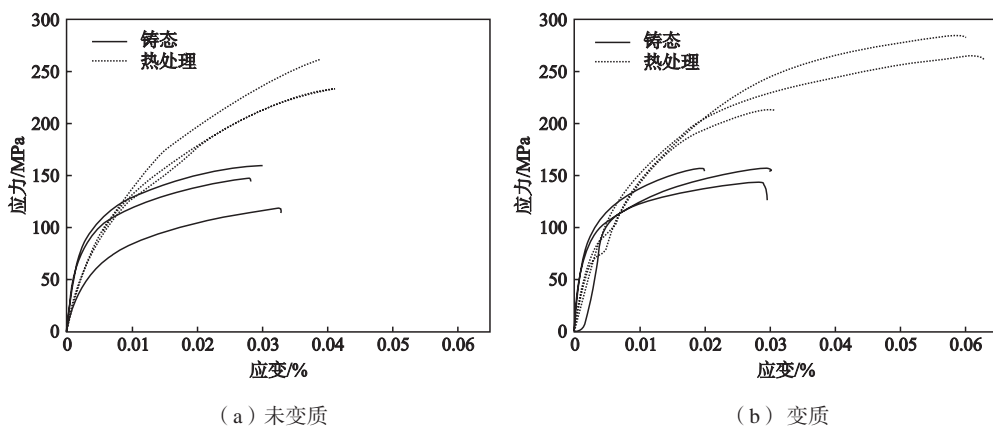


图3 变质试样铸态(a-c)及热处理后组织(d-f)

Fig. 3 Microstructures of modified ZL114A specimens: (a-c) As-cast, (d-f) heat treated



(a) 未变质

(b) 变质

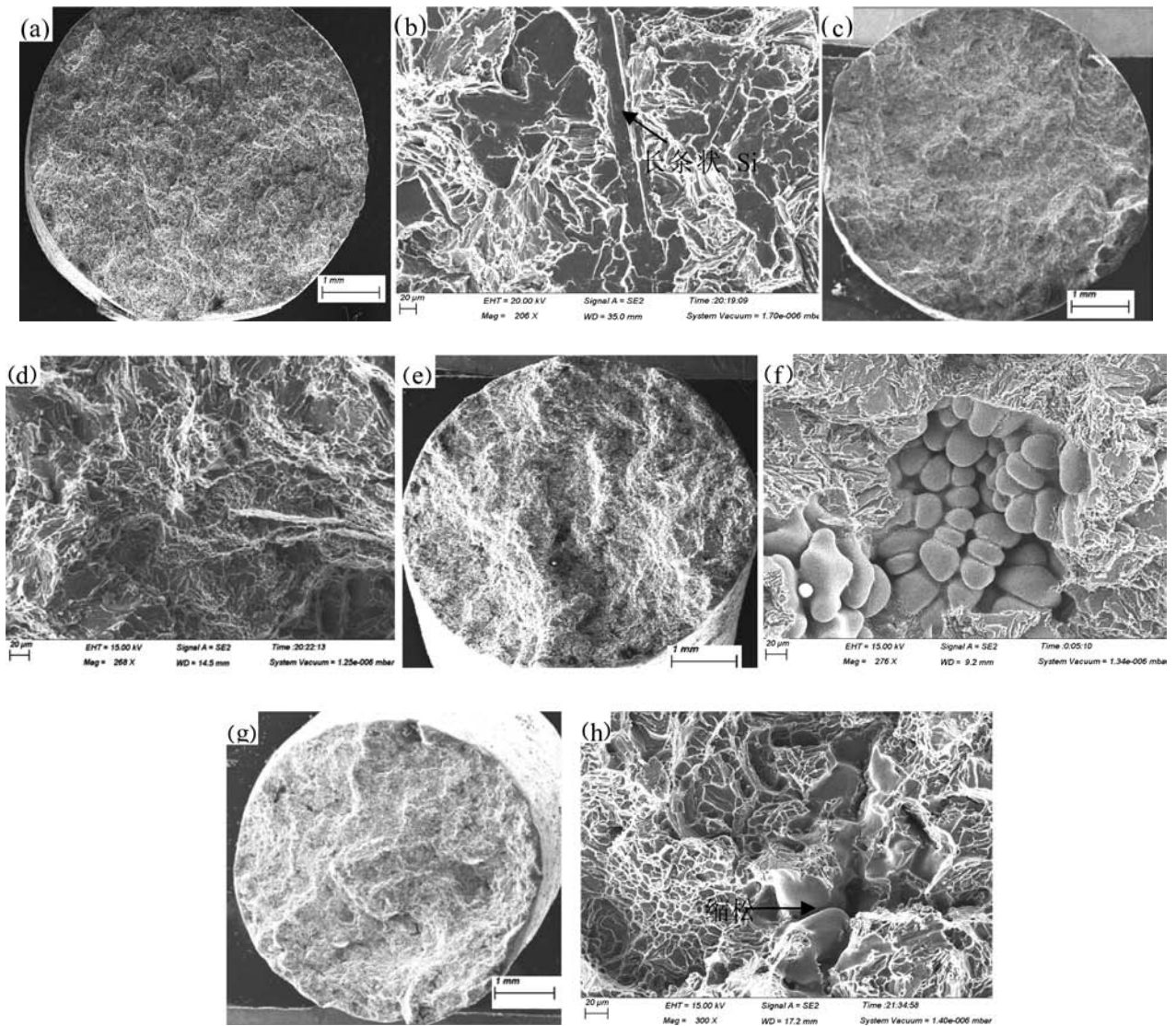
图4 ZL114A合金试样应力-应变曲线

Fig. 4 Stress-strain curves of unmodified and modified ZL114A specimens

求, 不得不对铸造工艺进行多次尝试, 但有时很难达到理想效果, 因此, 采用熔体未变质处理并通过后续热处理的方法, 进一步提高其力学性能不失为一种好的铸造工艺。

表1 熔体处理对ZL114A合金力学性能的影响
Table 1 Effect of melt treatment on mechanical properties of ZL114A alloy

状态	未变质			变质-精炼		
	序号	σ_b /MPa	δ /%	序号	σ_b /MPa	δ /%
铸态	1	159.12	3.01	1	159.12	3.01
	2	147.02	2.80	2	147.02	2.80
	3	118.17	3.28	3	118.17	3.28
热处理	1	261.32	3.89	1	261.32	3.89
	2	233.18	4.12	2	233.18	4.12
	3	179.70	2.10	3	179.70	2.10



(a, b) 铸态; (c, d) 热处理; (e, f) 铸态 (变质); (g, h) 热处理 (变质)

图5 ZL114A合金试样断口形貌

Fig. 5 Fracture morphologies of unmodified and modified ZL114A specimens before and after heat treatment

3 结论

(1) ZL114A合金未变质铸态试样力学性能总体上好于变质试样,而未变质热处理后力学性能稍差;

(2) 未变质热处理试样力学性能取决于Si相热变质是否充分,变质热处理试样力学性能取决于疏松边缘显微组织能否强化;

(3) 由于变质试样疏松缺陷很难消除,因此,对于石膏型铸造ZL114A合金复杂薄壁件,熔体采用未变质处理,铸件力学性能可通过后续热处理进行改善。

参考文献:

- [1] 孙昌建,舒大禹,王元庆,等.大型复杂薄壁铝合金铸件真空增压铸造特性研究[J].铸造,2008,57(5):442-445.
- [2] EISAABADI B G, DAVAMIA P, KIM S K, et al. Effects of hydrogen and oxides on tensile properties of Al-Si-Mg cast alloys [J]. Mater. Sci. Eng. A, 2012, 552: 36-47.
- [3] LASHKARI O, YAO L, COCKCROFT S, et al. X-Ray microtomographic characterization of porosity in aluminum alloy A356 [J]. Mater. Trans. A, 2009, 40A: 991-999.
- [4] CAMPBELL J. An overview of the effects of bifilms on the structure and properties of cast alloys [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2006, 37B: 857-863.
- [5] FARHOODI B, RAISZADEH R, GHANAATIAN M H. Role of double oxide film defects in the formation of gas porosity in commercial purity and Sr-containing Al alloys [J]. J. Mater. Sci. Technol, 2014, 30(2): 154-162.
- [6] LIU L, SAMUEL A M, SAMUEL F H, et al. Influence of oxides on porosity formation in Sr-treated Al-Si casting alloys [J]. Journal of Materials Science, 2003, 38: 1255-1267.
- [7] HAN Y, SAMUEL A M, DOTY H W. Optimizing the tensile properties of Al-Si-Cu-Mg 319-type alloys: Role of solution heat treatment [J]. Materials and Design, 2014, 58: 426-438.
- [8] CHEN Rui, XU Qingyan, JIA Zhaonian, et al. Precipitation behavior and hardening effects of Si-containing dispersoids in Al-7Si-Mg alloy during solution treatment [J]. Materials and Design, 2016(90): 1059-1068.

Effects of Sr Modifier on Microstructure and Mechanical Properties of Gypsum Precision Cast ZL114A Alloy

XU Guang-tao¹, WANG Kuang-fei², ZHOU Zhi-jie¹, ZHANG Jin-zhi¹, SHI Xiao-bao¹, QIAN Jin-liang¹
(1.Henan Pingyuan Optic Electronics Co., Ltd., Jiaozuo 454001, Henan, China; 2.School of Materials Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China)

Abstract:

The effects of melt treatment conditions on the mechanical properties and microstructures of plaster casting samples by T5 treatment were studied by adding Sr modifier or not (unmodified and modified) to ZL114A alloy melt. The results show that the mechanical properties of unmodified as-cast specimens were better than those of modified specimens, but the mechanical properties of heat treated unmodified specimens were slightly worse, which was because the thermal modification of Si phase was not enough. It is difficult to eliminate the porosity defect in the modified specimens, thus for gypsum precision casting of complex thin-walled parts of ZL114A alloy, unmodified treatment is an option.

Key words:

ZL101A alloy; gypsum mold precision casting; Sr modification; mechanical property