

文章编号:1000-582X(2005)05-0051-03

微量元素及热处理对 ZL107 组织和性能的影响*

王翠玲,李华基,薛寒松,胡慧芳

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要: ZL107 合金具有良好的铸造性能和较高的力学性能,应用非常广泛,但目前还不能满足现代工程结构中大型、复杂、高强度重要铸件的要求。实验在原有成分的基础上,通过添加微量合金元素、混合稀土变质和选择合理的热处理工艺来进一步提高 ZL107 的综合力学性能。实验结果表明,改进后的合金经过金属型浇注、T5 处理后的力学性能: σ_b 为 324.2 MPa, δ_5 为 4.1%, HBS 为 102, 比原 ZL107 合金分别提高了 19.7%、46.4% 和 8.0%。改进后的 ZL107 合金不但具有较高的强度和硬度,而且具有良好的塑性,有望成为大型、复杂、高强度结构铸铝件的优选合金之一。

关键词: ZL107; 合金化; 变质; 热处理; 综合力学性能

中图分类号: TG146.2⁺1; TG113

文献标识码: A

ZL107 属于 Al-Si-Cu 系合金,不仅具有 Al-Si 系合金良好的铸造性能,还拥有 Al-Cu 系合金力学性能高的优点,其切削加工性能也比较好^[1],所以在铝铸件的生产中 ZL107 的应用非常广泛。ZL107 含 Cu 量较高,因此有一定的挖掘潜力,实验的目的就是在 ZL107 原有成分的基础上,通过微量合金元素强化、混合稀土(RE)变质改变共晶 Si 的形状以及选择合理的热处理工艺 3 个方面来进一步提高合金的综合力学性能。实验证明了改进后的合金力学性能比 ZL107 有明显的提高,有望成为大型、复杂、高强度结构铸铝件的优选合金之一。

1 实验方法

1.1 实验材料

99.7 铝锭, Si-1 结晶硅, 99.95 镁锭, 自制 Al-50% Cu 中间合金, Al-5% Ti-3% B 中间合金, Al-10% RE(混合稀土)中间合金。实验材料的具体配方有 2 组, 一组为 ZL107 的标准配方作为对比实验, 一组是在 ZL107 的基础上添加微量合金元素 Mg、Ti 和 RE 变质剂(后一组合金配方在文中记为 ZL107A)。

1.2 实验设备和过程

在 5 kW 的石墨坩埚电阻炉中按成分比例完全熔化合金属材料, 然后用氮气精炼。将熔化好的金属液浇注标准的金属试样, 用于测定合金的力学性能和制备

金相试样。在 WE-100 型万能试验机上测定拉伸强度和延伸率, 用 HB-300 型布氏硬度计测定其硬度, 用金相显微镜观察金相组织。

2 实验结果

2.1 变质对合金铸态金相组织和力学性能的影响

图 1 和图 2 分别为 ZL107 和 ZL107A 的铸态金相组织。从图中可以看出未变质合金的共晶硅相呈现出粗大的针片状, 经过 RE 变质后合金的共晶硅相明显地向断网状转变。



图 1 ZL107 铸态金相组织

ZL107 和 ZL107A 铸态的力学性能测试结果如表 1 所示。从表中的数据分析可知, 经过合金化和变质后 ZL107A 的拉伸强度、延伸率和硬度均有一定幅度的提高, 其中拉伸强度和延伸率提高较显著, 分别比

* 收稿日期:2004-12-30

基金项目:重庆市科技攻关资助项目(7586)

作者简介:王翠玲(1975-),女,重庆忠县人,重庆大学硕士,主要从事材料科学研究。



图2 ZL107A 铸态金相组织

ZL107 提高了 20.7% 和 30.4%。

表1 合金的铸态力学性能比较

试样	ZL107			ZL107A		
	σ_b /MPa	δ_5 /%	HBS	σ_b /MPa	δ_5 /%	HBS
1	170.8	2.3	69.6	214.3	3.0	79.7
2	175.8	1.7	72.5	200.9	3.0	80.3
3	178.4	2.6	75.9	210.3	2.9	84.0
4	175.9	2.7	70.3	220.5	3.0	80.5
平均值	175.2	2.3	72.1	211.5	3.0	81.1

2.2 热处理对合金金相组织和力学性能的影响

由表1可知,合金的铸态力学性能不够理想,不能满足大型、复杂、高强度结构铝铸件的要求,需采用适当的热处理进一步提高合金的力学性能。现在大部分厂家对 ZL107 的铸件采用的是 T6 处理,这种处理方法能获得最大的强度和硬度,但延伸率较低,针对这种情况,对 ZL107A 选定了 T5 热处理工艺。

ZL107 经 T6 处理后,铸态组织的共晶硅相由针片状向短杆状转变,部分共晶硅向粒状化发展,如图3所示。ZL107A 经过 RE 变质、T5 处理后合金的共晶硅相几乎全部呈粒状和球状,如图4所示。

经过不同热处理后 ZL107 和 ZL107A 的力学性能测试结果如表2所示。

表2 热处理工艺及力学性能

热处理工艺	σ_b /MPa	δ_5 /%	HBS	备注
T6	270.8	2.8	94.4	ZL107
T6	340.7	1.5	125.0	ZL107A
T5	324.2	4.1	102.0	ZL107A

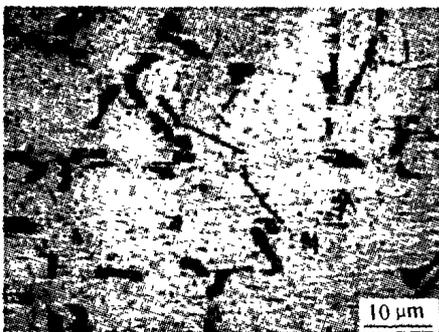


图3 T6 处理后 ZL107 的金相组织

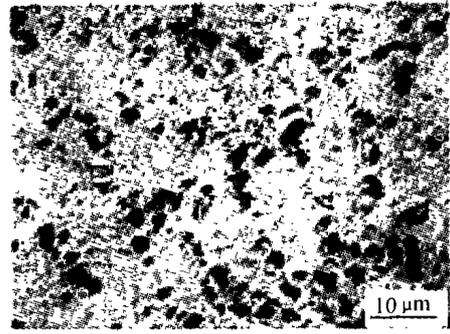


图4 T5 处理后 ZL107A 的金相组织

由表2中的数据分析可知 T6 处理后,ZL107A 的强度和硬度比 ZL107 都有很大的提高,但延伸率不很理想。采用 T5 处理后,合金牺牲了部分的强度和硬度,但综合力学性能比经 T6 处理的 ZL107 仍有大幅度的提高,即合金不仅保留了较高的强度和硬度,还具有较好的塑性。

3 结果分析

3.1 单元素的作用

铝硅铜合金中加入少量的镁可以形成 Mg_2Si 相,淬火时, Mg_2Si 先溶入 α 固溶体,时效时,又呈弥散相析出,使 α 固溶体的结晶点阵发生畸变,从而强化合金,显著提高力学性能。此外,由于 Cu 的存在,Mg 的加入还会形成一种强化相 $W(Al_xMg_5Si_4Cu_4)$,相比 Mg_2Si 和 $CuAl_2$ 相,W 相的强化效果最好,这促使了合金力学性能的进一步提高。但由于 Mg 的加入会引起合金的延伸率下降,所以为了使合金的综合力学性能保持在较高水平,一般 Mg 的含量控制在 0.5% 以下^[1-2]。

合金中加入微量的 Ti,根据“共晶说”细化原理^[3],微量 Ti 在合金中形成细小的 $TiAl_3$ 质点,作为包晶反应产物 $\alpha(Al)$ 的结晶核心,从而大大细化了 α 相,提高合金的力学性能。

3.2 稀土元素的作用

稀土元素作为铝合金变质剂的一种,其优异性能已得到了国内外许多专家的肯定。通过比较图1和图2,可以看出,加入了微量稀土元素的 ZL107A,其共晶硅相由不加稀土时的粗大针片转变成断网状,而在进一步的热处理中又转变成颗粒状,如图4所示,从而提高了合金的力学性能,其变质机理非常复杂,相应的论述也非常多。笔者倾向于 S. Z. Lu 和 A. Hellawell 的观点^[4],由于稀土原子同硅晶体 $\{111\}$ 面上内在台阶相互作用,使被吸附的稀土原子产生 $\{111\}$ 孪晶,孪晶密度增加使硅的生长方式发生改变,阻碍了硅晶体沿 $\{111\}$ 面铺开长大,从而抑制了针片状硅的生长,使针片状 Si 晶体变成分枝密集、而又相互交叉连接的纤维状共晶硅,达到变质效果,提高合金的力学性能。除变

质作用外,稀土元素如同Ti和B元素,对铝合金组织还有强烈的细化作用,可细化 α (Al)初晶和二次枝晶间距^[5]。此外,稀土元素可将合金中的铁含量维持在较低水平,并可使针状FeAl₃脆性相变成CeFe₂Al₁₀和LaFe₂Al₁₀比较圆整的三元化合物,而且由于这种相密度较大,容易富集在坩埚底部,所以坩埚中大部分铝液中含Fe较少,从而可使原来AlFe脆性相的不良作用大大减弱^[6],有助于改善合金的塑性和加工性能。

3.3 热处理的作用

热处理作为提高合金力学性能的重要手段之一,在实际生产中被广泛地应用。在本实验中对合金进行了固溶处理和不完全人工时效。Mg的加入使合金中不仅存在CuAl₂相,还将出现Mg₂Si和W(Al_xMg₅Si₄Cu₄)相,固溶处理过程中这些相溶入 α 固溶体中,使 α 固溶体的结晶点阵发生畸变,达到强化合金的目的^[7]。固溶处理后的时效处理主要分为不完全人工时效、完全人工时效和过时效,不同的时效方法对合金力学性能的影响是有差异的。完全人工时效可使合金获得最大的拉伸强度和硬度,但使延伸率降低;过时效是在加热到更高的温度下进行,主要是为了得到好的抗应力腐蚀性能;而不完全人工时效是采用比较低的时效温度或较短的保温时间以获得优良的综合力学性能^[8]。本实验选用对合金进行不完全人工时效,使合金元素在沉淀过程中部分亚稳定相转变为稳定相,适当降低合金的强度和硬度,提高合金的塑性。

4 结论

1)在ZL107原有成分的基础上,加入少量的Mg

和Ti进行合金化,并经RE变质,有效地提高了合金的拉伸强度、硬度和延伸率。

2)在微合金化和RE变质的条件下对合金采用T5处理代替T6处理,力学性能为 $\sigma_b = 324.2$ MPa, $\delta_5 = 4.1\%$, HBS = 102,其拉伸强度、延伸率和硬度比T6处理的ZL107分别提高了19.7%、46.4%和8.0%。改进后合金的综合力学性能优良,即合金不仅具有较高的拉伸强度和硬度,还具有良好的塑性,有望成为大型、复杂、高强度结构铸铝件的优选合金之一。

参考文献:

- [1] 陆文华,李隆盛,黄良行.铸造合金及其熔炼[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 陆树荪,顾开道,郑来苏.有色铸造合金及熔炼[M].北京:国防工业出版社,1983.
- [3] MOHANTY P S. Grain Refinement Mechanism of Hypoeutectic Al-Si Alloy[J]. Acta Mater, 1996,44(9): 3749-3760.
- [4] LU S Z, HELLAWEEL A. The Mechanism of Silicon Modification in Al-Si Alloys. Im Parity Im Duuced Twinning[J]. Metallurgical Transition, 1987,18A:1721.
- [5] 唐多光.铸造铝合金精炼变质的好材料——稀土合金[J].特种铸造及有色合金,1999,(5):42-44.
- [6] 孙伟成,张淑荣,侯爱芹.稀土在铝合金中的行为[M].北京:兵器工业出版社,1992.
- [7] 张宝昌.有色金属及其热处理[M].西安:西北工业大学出版社,1993.
- [8] 中国机械工程学会铸造专业学会.铸造手册第三卷(铸造非铁合金)[M].北京:机械工业出版社,1993.

Effect of Trace Elements and Heat Treatment on Micro-structure and Property of ZL107

WANG Cui-ling, LI Hua-ji, XUE Han-song, HU Hui-fang

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: ZL107 is widely used because of better cast property and higher mechanical property, but it does not meet the need of large-scale, complicated and high strength castings in modern engineering. The purpose of the experiment is to enhance the comprehensive mechanical property of ZL107 by adding minor amounts of alloy elements, modification of rare earth and appropriate process of heat treatment on the base of ZL107. It is seen from the result that the values of tensile strength(σ_b) 324.2 MPa, elongation (δ_5) 4.1% and hardness (HBS)102, are raised 19.7%, 46.4% and 8.0% compared with those of ZL107, respectively. It is shown that improved ZL107 obtains not only higher strength and hardness but also excellent plasticity. It is ready for application to the production of large-scale, complicated and high strength castings.

Key words: ZL107; alloying; modification; heat treatment; comprehensive mechanical property