

# Si、Cu 含量对汽车发动机缸体 ADC12 铝合金力学性能的影响

景莉丽<sup>1</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 刘云<sup>1</sup>, 高方圆<sup>2</sup>, 夏原<sup>2</sup>, 李光<sup>2</sup>

(1. 中北大学 材料科学与工程学院, 山西 太原 030051; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

**摘要:**以 ADC12 铝合金成分为基础, 通过加入不同含量的 Si、Cu 元素, 同时对铸件进行细化处理、变质处理、精炼处理以及热处理, 研究了 Si、Cu 元素对 ADC12 铝合金力学性能的影响。结果表明, 当 Si 含量达到 11%, Cu 含量达到 3.0% 时, ADC12 铝合金的抗拉强度和伸长率达到最优。当 Si 元素含量在 11% 时, ADC12 铝合金的抗拉强度为 210 MPa,  $\delta=14.8\%$ ; 当 Cu 元素含量在 3.0% 时, ADC12 铝合金的抗拉强度为 292 MPa, 伸长率为 10.2%。

**关键词:**ADC12 铝合金; Si; Cu; 力学性能

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.06.042

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)06-0154-02

## Effect of Si and Cu Content on Mechanical Properties of ADC12 Alloy Used in Vehicle Engine Cylinder

JING Lili<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>, GAO Fangyuan<sup>2</sup>, XIA Yuan<sup>2</sup>, LI Guang<sup>2</sup>

(1. College of Material Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** On the basis of ADC12 aluminum alloy components, by adding various amounts of Si, Cu elements and making refining processing, modification, refining treatment to alloy melt and heat treatment process of casting, the effects of Si, Cu content on the mechanical properties of ADC12 alloy were researched. The results show that when the content of Si reaches 11% and the content of Cu reaches 3.0%, the tensile strength and elongation of ADC12 alloy rate are optimal. When the content of Si reaches 11%, the mechanical property of ADC12 alloy achieves that  $\sigma=210$  MPa, and  $\delta=14.8\%$ . When the content of Cu reaches 3.0%, the mechanical property of ADC12 aluminum alloy achieves that  $\sigma=292$  MPa, and  $\delta=10.2\%$ .

**Key words:** ADC12 aluminum alloy; Si; Cu; mechanical property

铝合金是国民经济建设和国家安全重要的工程材料。铸造铝合金具有较高的比强度、良好的铸造性能和耐蚀性, 广泛应用于汽车、航空航天等领域, 并且在车辆发动机缸体的应用前景十分巨大。目前发展低能耗与新能源汽车是国家中长期科技发展纲要围绕交通运输业的优先主题, 发动机动力系统采用高强和高温轻合金是世界上公认的汽车轻量化途径。缸体是汽车发动机的核心部件, 使用铝合金材料可减轻发动机的质量, 从而减轻整车质量。随着汽车工业对产品轻量化和高强化的要求不断提高, 提高

铝合金的力学性能, 扩大其使用范围, 就成为迫切需要解决的问题。

Si、Cu 元素是铸造铝合金中的主要元素, 具有相当重要的作用; Si 含量的增加可使合金的流动性变好, Cu 的加入可显著提高铝合金的强度和硬度。鉴于此, 本文研究了在 ADC12 铝合金中添加一定量的 Si、Cu 元素对其力学性能的影响。

## 1 试验材料及过程

试验首先采用纯 Al 和单晶硅配置 Al-Si 中间合金, 使其含 Si 量达到 12.8%, 然后在 Al-Si 中间合金中加入纯 Al, 配置 Si 含量达到 ADC12 铝合金成分中的 Si 含量, 分析不同 Si 含量对合金力学性能的影响。然后在 Si 含量最优的情况下在合金中加入 Al-50%Cu 中间合金, 分析 Cu 元素对 ADC12 铝合

收稿日期: 2015-05-05

基金项目: 国家国际科技合作专项(2014DFG51240)

作者简介: 景莉丽(1989-), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 主要从事铸造铝合金强韧化研究, 压铸模具设计, 铸造工艺仿真;

E-mail: 1057586785@qq.com

金的影响。ADC12 铝合金成分范围见如表 1 所示。

表 1 ADC12 铝合金成分范围(质量分数,%)  
Tab.1 Chemical composition range of ADC12  
aluminum alloy (wt%)

Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Al
9.6~12	1.5~3.5	≤0.3	≤0.5	≤1.0	≤1.3	≤0.5	≤0.2	余量

试验过程:本试验采用单项试验,首先在坩埚底部加入单晶硅,在硅上面覆盖计算好的纯铝量的 2/3,一起升温。Al 在 660℃ 即熔,比硅先熔化,并覆盖在硅的上面。硅在铝液的包裹下慢慢熔化,熔化后用石墨棒反复搅拌,再加入余下纯 Al,升温至 820℃ 下保温 30 min 至完全熔化后进行炉前检测,即配成含 Si 量为 12.8% 的 Al-Si 二元合金。接着预热坩埚,将 Al-Si 二元合金和计算好的一定量纯 Al 放入坩埚底部,加热升温,在 750~760℃ 时使其完全熔化,在 725℃ 左右加入 Al-Ti-B 细化剂,搅拌,静置 3~5 min,在 735℃ 左右加入 Al-10%Sr 中间合金变质剂,静置 15 min,在 725℃ 左右用铝箔包好 C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> 精炼剂进行精炼,静置 10~15 min 后,用金属型浇铸试棒。铸件的热处理工艺为:固溶处理温度 520℃,固溶处理时间 6h,人工时效温度 170℃,人工时效时间 10h。然后在 WDW-E100D 电子万能材料试验机上对铸件进行力学性能的检测。

加入 Cu 元素的试验是先选取上述试验中含 Si 量最优的 Al-Si 二元合金,将其放入坩埚电阻炉中进行熔炼,当温度到达 745℃ 左右时加入 Al-50%Cu 中间合金,搅拌,使其完全熔化,其后熔炼工艺参数如同 Si。

## 2 结果及分析

### 2.1 Si 元素对 ADC12 铝合金的影响

Si 元素作为铸造铝硅合金中主要元素,具有相当重要的作用, Si 元素能改善合金的流动性,降低热裂倾向,减少疏松,提高气密性。在铝硅二元合金中,铸件的力学性能在很大程度上取决于 Si 在基体组织中的形状和分布<sup>[1]</sup>。将单晶 Si 与纯 Al 配置 Si 含量为 12.8% 的 Al-Si 二元合金,再在其中加入不同量纯 Al,研究 Si 元素对合金力学性能的影响,表 2 是分析 Si 元素对

表 2 Si 元素对合金热处理态力学性能的影响

Tab.2 Effect of Si element on mechanical properties  
of the alloys at heat treatment state

Si 含量(%)	9.6	10	11	11.5	12
抗拉强度 /MPa	185	193	210	202	187
伸长率(%)	11.2	13.7	14.8	10.8	7.0

合金力学性能影响的试验方案。可看出,含 Si 量在由 9.6% 增加到 12% 的过程中,抗拉强度先呈上升趋势,再呈下降趋势,在 Si 含量为 11% 时,其抗拉强度能取到最大值。伸长率也在含硅量为 11% 时为最好。

### 2.2 Cu 元素对 ADC12 铝合金的影响

由上述试验可知,当 Si 含量为 11% 时合金的力学性能最优,所以在含 Si 量为 11% 的合金中加入 Al-50%Cu 中间合金。Cu 元素的加入会使其在合金中固溶于铝基体中或者以颗粒状化合物形式存在,可显著提高铝合金的强度和硬度,不过却会使铝合金的伸长率有所降低。为提高合金强度,在铝合金中加 Cu 的量一般不超过 5%,过高的含 Cu 量将会降低合金抗拉强度。为使铝合金既具有较高的强度,又具有较好的塑性,应严格控制合金中的 Cu 含量<sup>[2]</sup>。表 3 是分析 Cu 元素对合金力学性能影响的试验方案。Cu 在 Al-Si 合金中形成时效强化相 Al<sub>2</sub>Cu 及强化相 Al<sub>4</sub>Mg<sub>6</sub>Cu<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>,提高了合金强度。从表 3 可看出,ADC12 铝合金中加入 Cu 元素后,其抗拉强度显著增大。

表 3 Cu 元素对合金热处理态力学性能的影响

Tab.3 Effect of Cu element on mechanical properties  
of the alloys at heat treatment state

Cu 含量(%)	1.5	2	2.5	3	3.5
抗拉强度 /MPa	235	256	277	292	224
伸长率(%)	13.6	12.4	11.0	10.2	9.8

## 3 结论

(1) 随 Si 元素含量的增加,ADC12 铝合金的抗拉强度和伸长率均先增大后减小,当 Si 元素含量在 11% 时,ADC12 铝合金的力学性能达到最优: $\sigma=210$  MPa, $\delta=14.8\%$ 。

(2) 随 Cu 元素含量的增加,ADC12 铝合金的抗拉强度先增大后减小,伸长率随 Cu 元素含量的增加不断减小。综合比较,当 Cu 元素含量在 3.0% 时,ADC12 铝合金的力学性能达到最优: $\sigma=292$  MPa, $\delta=10.2\%$ 。

### 参考文献:

- [1] Ma Z, Samuel E, Mohamed A M A, et al. Parameters controlling the microstructure of Al-11Si-2.5Cu-Mg alloys [J]. Materials and Design, 2010, 31: 902-912.
- [2] 陈大辉,汤进军,邵红岩,等. 发动机缸盖用新型 Al-Si-Cu-Mg 铝合金材料[J]. 车用发动机, 2011(6): 85-89.