

● 铸造技术 ●

汽车发动机缸体用 ADC12 铝合金铸造成分优化

刘伟¹, 景莉丽¹, 刘云¹, 高方圆², 夏原², 李光²

(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:研究了 Si、Cu、Mg、Mn 四种元素对 ADC12 合金力学性能的影响。确定了汽车发动机缸体用铝合金 ADC12 的最优成分(质量分数, %): 11Si, 2.5Cu, 0.3Mg, 0.5Mn, 其力学性能为抗拉强度 236.5 MPa、伸长率 3.88%。

关键词:ADC12; 铸造铝合金; 发动机缸体

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.05.018

中图分类号: TG292; TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)03-0067-02

Composition Optimization of ADC12 Casting Aluminum Alloy for Automobile Engine Cylinder Block

LIU Wei¹, JING Lili¹, LIU Yun¹, GAO Fangyuan², XIA Yuan², LI Guang²

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

Abstract: Effects of Si, Cu, Mg and Mn on mechanical properties of ADC12 alloy were studied. The optimal composition of the ADC12 cast aluminum alloy for automobile engine cylinder block was ascertained. It is 11Si, 2.5Cu, 0.3Mg and 0.5Mn (wt%). The mechanical properties are tensile strength of 236.5MPa, and elongation of 3.88%.

Key words: ADC12; cast aluminum alloy; engine cylinder block

铸造铝合金具有较高的比强度、良好的铸造性能和耐蚀性能,被广泛应用于军工、航天、航空、汽车、机械等领域^[1],尤其在汽车发动机缸体方面应用前景十分巨大。ADC12 铝合金属于 Al-Si-Cu 系合金,具有良好的铸造性能^[2],且铸件强度高、热膨胀系数小、耐腐蚀性能高及切削性能好,是汽车发动机缸体的理想材料,但 ADC12 铝合金高强韧的力学性能并不非常的理想,这限制了其在气缸体、缸盖、引擎齿轮箱、连杆及电动工具体等零部件的应用。本课题采用单项及正交试验法,以 ADC12 铝合金成分范围为研究基础,对其进行成分优化,找到最佳的成分比,在保证合金具有良好的铸造性能同时,提高合金的高强韧力学性能。

1 试验方法

本试验采用纯铝、纯镁、单晶硅及 Al-10Mn、Al-50Cu 中间合金等原料,在石墨坩埚电阻炉中熔炼,在金属型模具中采用重力浇注成试样,经加工后

通过电子万能材料试验机测量铸锭的力学性能来研究 Si、Cu、Mg、Mn 四种元素对 ADC12 铝合金的影响。ADC12 铝合金的化学成分见表 1。

表 1 ADC12 铝合金的化学成分(质量分数, %)
Tab.1 Chemical composition 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

2 试验结果及分析

2.1 单一合金元素对力学性能的影响

Si 可提高合金铸造性能,改善流动性,降低热裂倾向性,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。图 1(a)为 Si 含量对 ADC12 铝合金力学性能的影响图。从图可以看出,随着 Si 含量的增大,合金的伸长率和抗拉强度均先增大后减小,综合力学性能在含 Si 量 11%时为最好。

Cu、Mg 的作用是强化合金的力学性能。Cu 在 Al-Si 合金中形成 Al₂Cu 强化相,产生弥散强化,提高了合金的强度^[3],由图 1(b)可知,随着 Cu 含量的增大,其抗拉强度显著增大;在 Al-Si 合金中添加 Mg 元素后, Mg 可以与 Si 生成 Mg₂Si 相^[4],虽然消

收稿日期:2015-03-20

基金项目:国家国际科技合作专项项目(2014DFG51240)

作者简介:刘伟(1989-),男,湖南衡阳人,硕士研究生,主要从事铸造铝合金强韧化研究, E-mail:958649764@qq.com

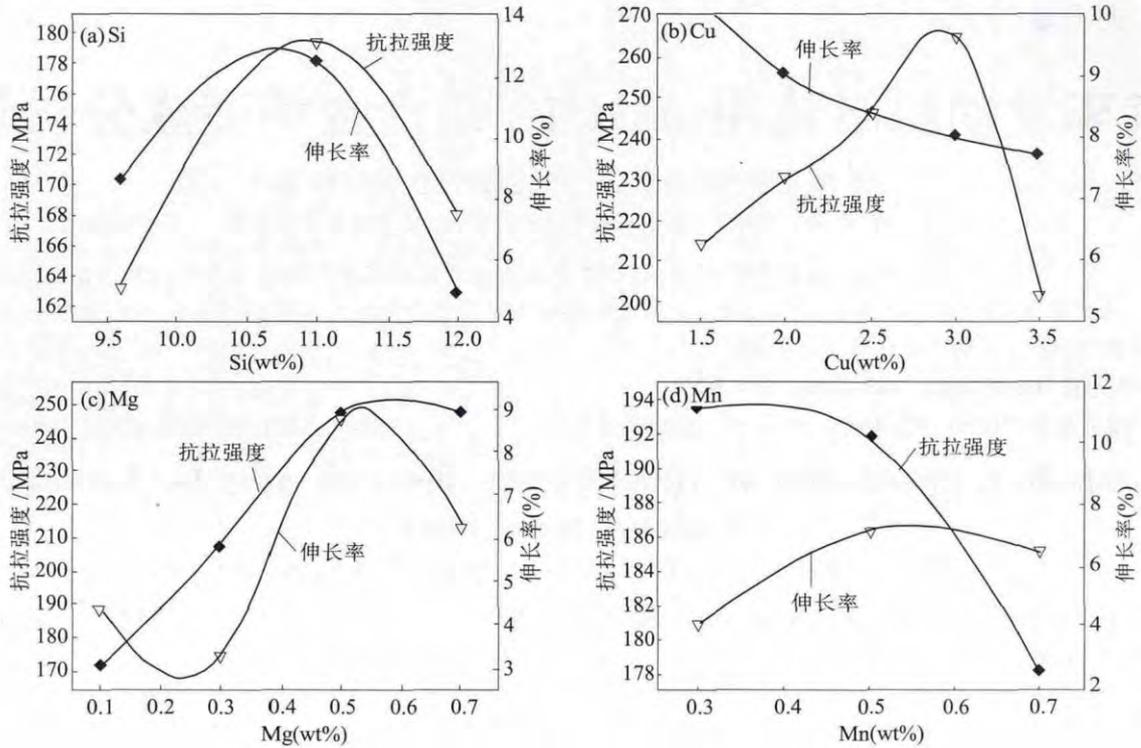


图1 各元素含量对 ADC12 铝合金抗拉强度和伸长率的影响

Fig.1 The effects of each element content on tensile strength and elongation of ADC12 aluminum alloy

耗了合金中的 Si 原子,但能产生固溶作用,有利于提高合金的硬度和强度^[5]。然而当 Mg 含量达到一定程度时,由于形成的 Mg₂Si 相较多,而在 Mg₂Si 相较多时其形貌也由原来的块状转变为条状,从而割裂基体损害其抗拉强度^[6](图 1(c))。随着 Mg 含量的增加,其抗拉强度先增大后减小。

图 1(d)为 Mn 含量对 ADC12 铝合金力学性能的影响。从图可以看出,随着 Mn 含量的增大,合金的抗拉强度减小,伸增长先增大后减小。这是因为在凝固过程中,一部分 Mn 与 Fe 结合降低合金中 Fe 的危害性;一部分 Mn 固溶 α-Al 基体中,起固溶强化作用;最后一部分 Mn 在合金中形成时呈不连续网状分布于 α 晶界,割裂了合金组织。

2.2 合金元素对力学性能的综合作用

为了考察各元素对合金力学性能的综合作用,确定出最优的合金成分,根据单项基础试验结果安排正交试验,结果如表 2 所示。

对所得到的试验结果进行评价分析,运用各个合金元素的极差大小来判断对测试结果的影响程度,极差值大者影响程度大,极差值小者影响程度小。从表 2 可以看出,各元素对合金抗拉强度的影响顺序为:Cu>Mg>Si>Mn。对伸长率的影响顺序为:Mg>Mn>Si>Cu。

表 2 正交试验表

Tab.2 Orthogonal experiment list

试验号	合金成分 (wt%)				抗拉强度 σ/MPa	伸长率 δ (%)
	A:Si	B:Cu	C:Mn	D:Mg		
1	1(10.5)	1(2.5)	1(0.4)	1(0.2)	250.0	2.80
2	1(10.5)	2(3.0)	2(0.5)	2(0.3)	218.0	3.00
3	1(10.5)	3(3.5)	3(0.6)	3(0.4)	265.0	4.28
4	2(11.0)	1(2.5)	2(0.5)	3(0.4)	270.5	4.24
5	2(11.0)	2(3.0)	3(0.6)	1(0.2)	229.0	3.60
6	2(11.0)	3(3.5)	1(0.4)	2(0.3)	244.5	3.24
7	3(11.5)	1(2.5)	3(0.6)	2(0.3)	233.5	3.60
8	3(11.5)	2(3.0)	1(0.4)	3(0.4)	230.5	3.80
9	3(11.5)	3(3.5)	2(0.5)	1(0.2)	243.0	3.20
抗拉强度 /MPa	k ₁ /3	244.3	251.3	241.7	240.7	较优水平: A ₁ B ₃ C ₂ D ₃ 因素主次: B>D>A>C
	k ₂ /3	248.0	225.8	243.8	232.0	
	k ₃ /3	235.6	250.8	242.5	255.3	
	R	12.4	25.5	2.1	23.3	
伸长率 (%)	k ₁ /3	3.36	3.55	3.28	3.20	较优水平: A ₁ B ₃ C ₃ D ₃ 因素主次: D>C>A>B
	k ₂ /3	3.69	3.47	3.48	3.28	
	k ₃ /3	3.53	3.57	3.83	4.11	
	R	0.33	0.10	0.55	0.91	

由表 2 可以得出,试验 4 综合力学性能最好,但 Mg 含量已超出 ADC12 铝合金成分范围。据图 1(c) 可看出,在 ADC12 铝合金成分内其抗拉强度随 Mg 含量增大而增大。为了满足汽车发动(下转第 72 页)

2.4 胶粉含量对涂料高温抗裂性的影响

如表 5 所示,随着胶粉添加量的变大,粉煤灰铸造涂料的抗裂性是逐渐变差的。胶粉的含量 $<0.2\%$ 时,涂料的抗裂性是 I 级;当胶粉的含量在 0.8% 与 1.0% 之间时,涂料的高温抗裂性为 II 级,涂层的表面上开始出现了细小的网状裂纹;当胶粉的含量大于 1.0% 时,涂层抗裂性属于 III 级,涂层就出现了较多的网状裂纹;当胶粉的含量继续变大时,涂层就出现了大量贯穿的裂纹和剥离的现象。所以胶粉的添加量过多的话就会导致涂层的开裂。这是因为可再分散乳胶粉经过高温液态金属的瞬间炙烤后形成一层依附于砂型表面的固体层,可再分散乳胶粉越多,固体层越厚,越不稳定,也越容易导致涂层开裂。

表 5 胶粉含量对涂料高温抗裂性的影响
Tab.5 Effect of rubber content on high temperature crack resistance of coatings

胶粉含量(%)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
抗裂性级别	I	I	I	II	II	III	III	IV	IV

2.5 胶粉含量对涂层耐磨性的影响

胶粉对涂料耐磨性影响的规律大体是:随着胶粉含量的逐渐增加,涂层的耐磨性是逐渐增强的,当胶粉的加入量在 0.2% 到 0.4% 之间时,涂层耐磨性比较差,非常容易脱落;当胶粉加入量在 0.4% 到 0.8% 时,涂层耐磨性变得较好,用力搓才能将涂层与砂型分离开来,此种状态比较符合金属液浇注时涂层的性质;当胶粉加入量大于 0.8% 时,涂层的耐磨性进一步增强,但随之而来的是其他性质变差,所以,选择合适量的可再分散胶粉含量非常必要。

(上接第 68 页) 缸缸体高强韧的力学要求,取其极限,故合金成分为:11Si,2.5Cu,0.3Mg,0.5Mn。经试验其铸件力学性能为: $\sigma=236.5\text{MPa}$, $\delta=3.88\%$,其最优成分见表 3。

表 3 最优成分表(质量分数,%)
Tab.3 Optimal chemical composition list(wt%)

Si	Cu	Mg	Mn	Al
11	2.5	0.3	0.5	余量

3 结论

(1) Cu 含量对 ADC12 铝合金的抗拉强度影响最大,Mg、Si 次之,Mn 影响最小。

(2) 综合各元素对合金性能的影响,优化出合金的最佳配比为(质量分数,%)11Si,2.5Cu,0.3Mg,0.5Mn。其铸件力学性能为: $\sigma=236.5\text{MPa}$, $\delta=3.88\%$ 。

3 结论

(1) 在粉煤灰铸造涂料中,加入少量的可再分散乳胶粉可以显著地改变涂料的铸造性能,但加入的量要适中为宜。

(2) 当胶粉的含量从 0.2% 到 1.4% 逐渐变化时,涂料的悬浮性逐渐增大,但当胶粉的含量在 1.4% 到 1.8% 时,悬浮率会保持在 97% 左右。

(3) 当胶粉含量逐渐增加时,涂料的粘度是逐渐增大的,当胶粉含量大于 0.8% 时,涂料的粘度超过 15s ,涂刷时涂层变厚,流淌性开始变差。

(4) 当胶粉含量从 0.2% 逐渐增加到 1.8% 时,涂层的抗裂性从 I 变为 IV,涂层从没有裂纹变成具有大量的贯穿整个涂层的裂纹并且容易剥落。

(5) 当胶粉含量缓慢增加时,涂料的渗透性逐渐变差,耐磨性逐渐增强。综上所述:为了保证粉煤灰铸造涂料各项性能指标优异,可再分散乳胶粉的含量应控制在 0.4% 到 0.8% 之间。

参考文献:

- [1] 曲卫涛. 铸造工艺学 [M]. 西安:西北工业大学出版社,1994.
- [2] 韩宝仁. 塑料异型材制造原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
- [3] 沈嘉猷,杨正山. 造型材料测试技术 [M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [4] 张启富,王文清. 铸造流涂新工艺 [M]. 北京:冶金工业出版社,1998.
- [5] 刘瑞玲,范金辉. 铸造实用数据速查手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2006.

参考文献:

- [1] 王蒙蒙,张德恩,卢锦德,等. Al-Cu-Mn 系新型铝合金热处理工艺研究[J]. 热加工工艺,2013,42(6):159-163.
- [2] Huang X, Yan H. Effect of trace La addition on microstructure and mechanical property of as-cast ADC12 Al-alloy [J]. Journal of Wuhan University of Technology(Materials Science), 2013, 28(1): 202-205.
- [3] 任丽萍,郭秀琴,刘云. 702A 铝合金的合金化工艺研究[J]. 热加工工艺,2010,39(5):40-41.
- [4] 石锦昱,姚辉,陈名海,等. Mg 含量对 ADC12 铝合金组织及性能的影响[J]. 热处理,2011,26(4):48-52.
- [5] 迟长志,燕永文,崇振,等. Mg、Cu、Si 元素含量对过共晶铝硅组织与性能的影响[J]. 兵器材料科学与工程,2013,36(6):55-57.
- [6] Ranna G, Zhou J E, Wang Q G. Precipitates and tensile fracture mechanism in a sand cast A356 aluminum alloy [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008(207):46-52.