

应用技术

# Si、Mg含量对A356铝合金车轮性能的影响

代颖辉, 陈玫新, 储秀欣  
(保定市立中车轮制造有限公司, 河北保定 071000)

**摘要:** 为了研究不同Si、Mg含量对A356铝合金车轮的性能的影响, 在经T6处理后的不同Si、Mg含量A356铝合金车轮外轮缘取拉伸试棒, 进行力学性能测试, 并进行了成品车轮的抗冲击试验和弯曲疲劳试验。试验结果表明: Mg含量变化对合金的性能影响大于Si含量变化; 当Si含量为7%、Mg含量为0.32%时, 成品车轮的抗冲击性能和抗弯曲疲劳性能最好。

**关键词:** 车轮; A356; 化学成分; 力学性能; 冲击试验; 弯曲疲劳试验

**中图分类号:** TG292 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2014) 03-0257-04

## Influence of Si and Mg Content on the Performance of A356 Al Alloy Wheels

DAI Ying-hui, CHEN Jiu-xin, CHU Xiu-xin  
(Baoding Lizhong Wheel Manufacturing Co., Ltd., Baoding 071000, Hebei, China)

**Abstract:** The influence of different content of Si and Mg on the performance of A356 Al alloy wheels was studied, the tests of mechanical properties were conducted with outer flange tensile test bars on A356 Al alloy wheels with different content of Si and Mg after T6 heat treatment. Also, the impact test and bending fatigue test were conducted to the wheels. According to the test results, the change of Mg content has more influence on alloy performance than Si content; when there is 7% Si and 0.32% Mg in a wheel, its performance of impact resistance and bending fatigue resistance is the best.

**Key words:** wheel; A356; chemical composition; mechanical property; impact test; bending fatigue test

铝合金车轮是车辆承载的重要安全件, 除受重力外, 还受车辆起动、制动时扭矩、转弯时弯矩、行驶过程中的冲击力等多种力的作用<sup>[1]</sup>。因此, 铝合金车轮必须具备足够的抗冲击性能、抗疲劳性能、刚度和弹性。

铝合金车轮使用的常用材料为A356, 化学成分见表1。标准中化学成分规定Si含量是6.5%~7.5%, Mg含量是0.25%~0.45%。实际生产时, 化学成分控制的范围按照此标准控制, 车轮的冲击和弯曲疲劳试验结果往往有较大差异, 所以这两种成分在标准规定的范围内还需要确定更合理的控制含量或范围。本项目研究了Si和Mg的不同含量对力学性能以及对产品性能的影响, 最终确定制造车轮材料的Si、Mg最佳含量或控制范围, 为产品质量稳定打下基础。

~0.45%, 为确保产品符合标准和考虑实际生产时这两种成分存在波动, 故将Si分为6.6%、7%、7.4%三种含量, 调整成分时按照±0.1%控制; 将Mg分为4种含量(0.27%、0.32%、0.38%、0.43%), 调整成分时按照±0.01%控制。将Si、Mg不同含量分别进行组合, 组合为12种编号, 见表2。

表1 A356铝合金化学成分

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
6.5~7.5	0.20	0.20	0.10	0.25~0.45	0.20	0.20	余量

表2 Si、Mg不同含量试验编号

Si含量和序号	Mg含量和序号			
	1(0.27%)	2(0.32%)	3(0.38%)	4(0.43%)
1 (6.6%)	11	12	13	14
2 (7.0%)	21	22	23	24
3 (7.4%)	31	32	33	34

### 1 试验方案

此研究所采用的铸造铝合金车轮的工艺流程为: 熔炼→重力铸造→T6热处理→机加工→涂装。

#### 1.1 Si、Mg不同含量试验编号

标准规定Si含量为6.5%~7.5%, Mg含量为0.25%

#### 1.2 模具、设备和工艺方案

使用批量生产的15X6.5J产品模具。熔炼工序在坩

收稿日期: 2013-10-02收到初稿, 2013-11-18收到修订稿。

作者简介: 代颖辉 (1973-) 男, 工程师, 主要从事汽车铝合金车轮的研发制造。电话: 0312-5997634, E-mail: daiyinghui@lzwheel.com

坩埚内按照表2调整铝液成分。铸造工序使用铸造机和坩埚，使用重力铸造工艺连续生产，铝液浇注温度710℃，浇注时间20s，铸造周期320s。同时在铸件轮辐减重窝内打印标识，便于后续分析，如11则打印111、112等；每种编号生产20只，共240只工件。热处理按现有T6工艺（固溶处理：温度540℃，时间6h；人工时效：温度130℃，时间3h）生产，按正常工艺进行机加工和涂装。

### 1.3 力学性能试验

成品生产完毕后，做力学性能试验，每种编号取2只工件，在每只工件外轮缘固定位置各抽取2根拉伸试棒，即每种编号取外轮缘各4根拉伸试棒，取样位置见图1，拉伸试棒按GB/T 228.1—2010标准，规格要求见图2。并对结果取平均值进行分析总结。布氏硬度取样按GB/T 231.1—2002标准，在车轮指定位置上取样测试。

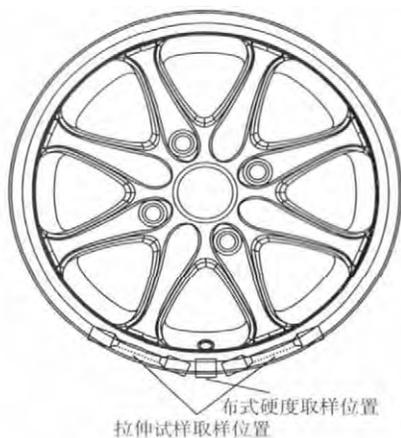


图1 拉伸试棒取样方位

Fig. 1 Sampling locations of tensile test bars

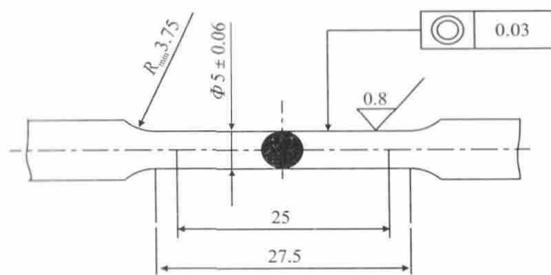


图2 拉伸试棒图

Fig. 2 Tensile test bar drawing

### 1.4 冲击试验和弯曲疲劳试验

设备使用德国冲击试验机，在同一方位冲击，标准要求重锤质量为516 kg，设备重锤质量能精确到2 kg和7 kg，如516 kg，实际冲击时按照517 kg。试验时先将重锤质量分别增加60、90、120、150、180 kg直到冲击不合格为止，如不合格，则将重锤质量分别降低30、60、90、120、150、180 kg直到冲击合格为止。方法按照冲击试验方法，结果按照GB/T 15704—1995标准进行冲击试验标准判定。冲击试验见图3。

设备使用德国弯曲疲劳试验机，标准要求弯矩为

2.733 kN·m，每种含量做3只产品，方法按照弯曲试验方法。弯曲试验做到极限，即直到转裂不合格为止，结果按照GB/T 5334—2005标准进行弯曲疲劳试验标准判定。弯曲试验见图4。

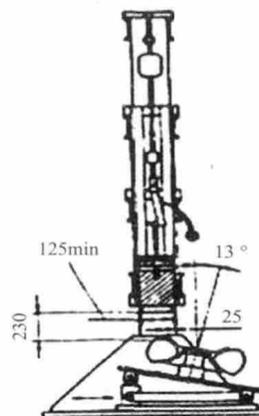


图3 冲击试验机示意图

Fig. 3 Impact tester diagram

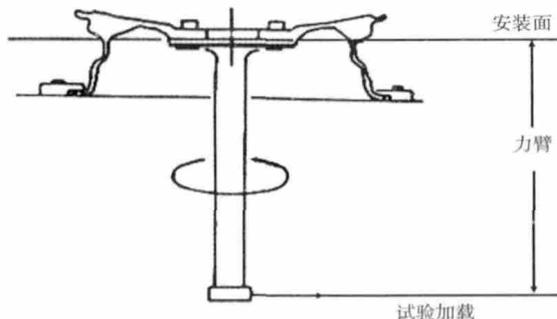


图4 弯曲疲劳试验机示意图

Fig. 4 Bending fatigue tester diagram

## 2 试验结果及分析

### 2.1 力学性能试验

对不同Si、Mg含量的拉伸试棒进行力学性能试验，图5为抗拉强度、屈服强度、断后伸长率平均值和趋势图，图6为每种编号的布氏硬度平均值和趋势图。

从图5、图6可看出，当Si含量增加时，材料的抗拉和屈服强度、硬度逐渐升高，而材料的断后伸长率会降低。当Si含量由6.6%升高到7.4%时，Mg含量在0.27%、0.32%、0.38%、0.43%时，抗拉强度分别升高了4.4%、8.4%、7.6%、6.8%；屈服强度分别升高了4.7%、8.5%、7.1%、5.9%；布氏硬度分别升高了9.7%、4.8%、11.0%、16.5%；断后伸长率分别降低了15.1%、12.7%、17.6%、12.1%。

随着Si含量增加，合金的结晶温度间隔不断变小，合金的晶粒变细，金属流动性增大，铸造性能越来越好。Si含量增加，组织中的Si晶体含量也不断增多，从而使材料的抗拉、屈服强度有所提高。但Si浓度增加，容易形成针状或片状Si晶粒，由于Si晶体较脆，随着含量的增加会降低材料的断后伸长率，而材料的布氏硬

度会逐渐升高。

从图5、图6可看出，当Mg含量增加时，材料的抗拉和屈服强度、硬度逐渐升高，而材料的断后伸长率会降低。当Mg含量由0.27%升高到0.43%时，当Si含量在6.6%、7%、7.4%时，抗拉强度分别升高了9.9%、10.9%、12.4%；屈服强度分别升高了12.1%、11.6%、13.3%；布氏硬度分别升高了14.7%、19.5%、21.8%；断后伸长率分别降低了35.3%、30.4%、33.0%。

Mg加入到材料中，会生成Mg<sub>2</sub>Si相，Si、Mg化合物的存在会以弥散相的方式强化材料。随着Mg含量的增加，Mg<sub>2</sub>Si含量也会增加，大多以固溶形式存在于α-Al基体中。通过热处理之后，Mg<sub>2</sub>Si析出，提高材料的强度。Mg在熔化、除气、变质的过程中，容易烧损，所以要严格控制Mg的烧损。

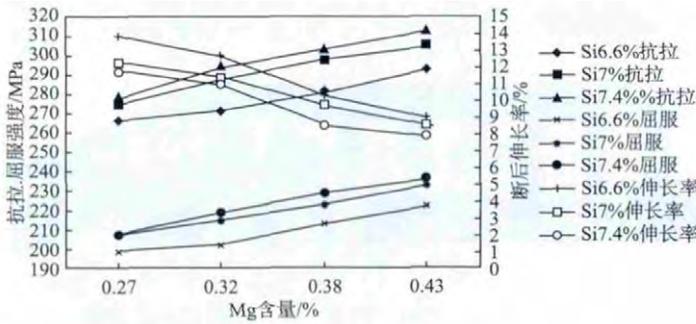


图5 抗拉强度、屈服强度、断后伸长率趋势图

Fig. 5 Tendency charts of tensile strength, yield strength and elongation

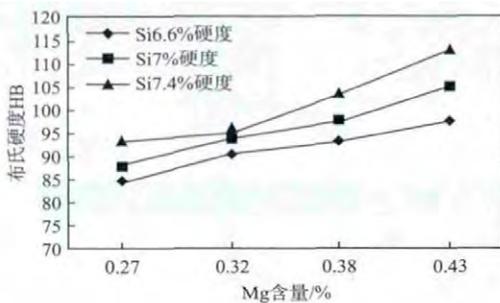


图6 布氏硬度趋势图

Fig.6 Tendency charts of Brinell hardness

### 2.2 冲击试验

冲击试验是铝合金车轮抗冲击性能的测试方法，是模拟车轮在实际行驶中受到石块等物的侧向冲击或车轮撞击公路牙边的情况。试验车轮为成品车轮，车轮安装轴线方向和冲头运动方向成13°，冲头从一定高度垂直下落冲击在车轮上。

出现下列情况之一即判定为不合格（不包含冲头接触的部位）：①试验结束后车轮出现的目测裂纹，及采用染色渗透法出现的穿透裂纹；②车轮任何部分的分离；③轮胎气压在一分钟内漏尽。

对于该A356铝合金车轮的抗冲击性能要求为516 kg以上。图7是12种不同Si、Mg含量A356铝合金车轮的冲击试验结果

从图7可看出：

(1) 编号为21 (7% Si、0.27% Mg)、22 (7% Si、0.32% Mg)、31 (7.4% Si、0.27% Mg) 车轮的抗

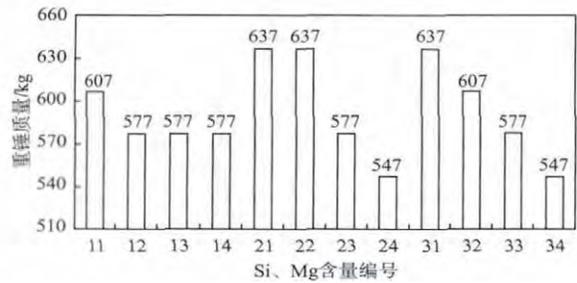


图7 冲击试验结果

Fig. 7 The results of impact test

冲击性能较好，在重锤质量为637 kg时仍然没有出现裂纹，直至重锤质量为667 kg时才出现裂纹。

(2) 编号为11 (6.6% Si、0.27% Mg)、32 (7.4% Si、0.32% Mg) 车轮的抗冲击性能稍差，在重锤质量为607 kg时合格，直至重锤质量为637 kg时出现裂纹。

结合图5、图6的力学性能可看出，冲击性能不仅要求材料具有较好的抗拉和屈服强度，断后伸长率也要稍好，硬度稍低。而断后伸长率高、硬度高、抗拉和屈服强度稍低时，车轮无法承受更大的冲击质量。

由冲击试验可以看出，当Si含量在7%，Mg含量在0.27%、0.32%时，以及Si含量在7.4%，Mg含量为0.27%时，抗冲击性能最好。

### 2.3 弯曲疲劳试验

弯曲疲劳试验是模拟汽车转弯时车轮所受弯矩载荷的能力。试验方法是将车轮通过安装盘和紧固螺栓安装在弯曲机上，并用压环压在车轮的内轮缘处将车轮夹紧，再对车轮施加一定弯矩的载荷，使车轮在该载荷下完成一定数量的循环。试验中，出现下列情况之一即判定为不合格：①车轮不能继续承受载荷；②车轮任何部位出现的新可见裂纹（用着色渗透法或荧光探伤法进行检查）；③如果在达到要求的循环次数之前，加载点的偏移量已超过初始全加载偏移量20%，应认为车轮试验已经失效。

图8为12种Si、Mg含量车轮的弯曲疲劳试验的平均转数结果。从图8可看出：①当Si含量为7%，Mg含量为0.32%时，车轮的弯曲疲劳性能最好，直至转数达到68.367 2万转时出现裂纹；②当Si含量为7%，Mg含量为0.27%时，车轮的弯曲疲劳性能稍差，直至转数达到63.834 1万转时出现裂纹；③当Si含量为6.6%、7%、7.4%时，Mg含量分别在0.38%、0.43%时，车轮的弯曲疲劳性能在40.859 5~52.025 3万转不等；④当Si含量为6.6%，而Mg含量为0.43%时，车轮的弯曲疲劳性能最差，转数达到38.268 6万转时出现裂纹。

图8的数据结合图5、图6的力学性能可以看出，弯曲疲劳试验不仅要求材料具有较好的抗拉和屈服强度，

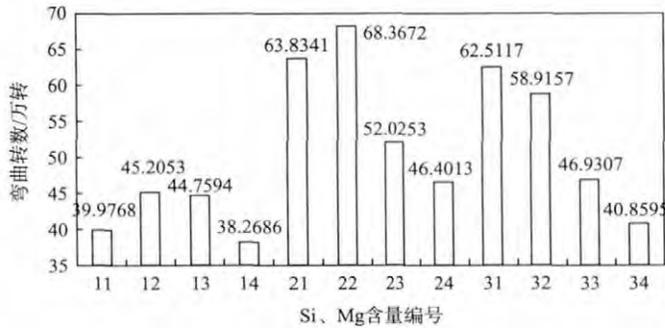


图8 弯曲疲劳试验结果

Fig. 8 The results of bending fatigue test

断后伸长率也要高一些。而断后伸长率高、抗拉和屈服强度稍低时，车轮无法承受更多的弯曲转数。

由弯曲疲劳试验结果可以看出，当Si含量为7%、Mg含量为0.32%时，弯曲疲劳试验最好，其次是当Si

含量为7.4%、Mg含量为0.27%时弯曲疲劳试验较好。

### 3 结论

(1) 在标准范围内，当Si、Mg含量增加时，材料的抗拉和屈服强度、硬度逐渐升高，而材料的断后伸长率会降低。

(2) 在标准范围内，Mg含量增加对力学性能的影响要大于Si含量增加对力学性能的影响。

(3) 在标准范围内，当Si含量在7%，Mg含量在0.32%时，产品的冲击性能、弯曲疲劳性能最好。

(4) 根据试验数据，在标准范围内实际制造铝合金车轮时，Si含量可控制在7%~7.4%，Mg含量可控制在0.27%~0.32%。

(编辑：曲学良，qxl@foundryworld.com)



## 河北省枣强县西果铸造工具厂

诚征各地代理

我厂是生产铸造用芯撑（铸顶）、涂料笔、造型工具的专业制造厂，30年来生产的“西果”系列铸具销往全国各地，质量信誉好，服务到位，规格全，当日邮寄。可供图订做，产品实行三包，欢迎国内外新老客户洽谈。

一、芯撑（工字型铸卡）：各种高度、形状（圆、方、长方、异形）、单柱、双柱、多柱、普通轴、螺纹轴、表面镀锌、镀锡，以及各种垫片。

二、涂料笔：羊毛掸笔2~12 cm（10个品种），水笔1.2~2 cm（3个品种），猪鬃掸笔等。

三、修造型工具（材质：不锈钢、弹簧钢）

/mm

名称	型号	规格	名称	型号	规格	名称	型号	规格
刮刀	2#	170×46	圆竹批	2#	280×24	压勺	1#	260×52
	3#	145×45		4#	240×20		2#	240×45
尖头刮刀	2#	150×43	平竹批	3#	260×22		4#	200×32
	提钩	1#		360×16	钩批	2#	300×20×14	二型压勺
3#		320×12	秋叶	2#	180×32×22	法兰钩	2#	260×13
5#		280×8	齐头压勺	3#	200×32	托兰根	2#	220×16×φ25
			双齐头压勺	2#	220×30	直角光子	2#	75×36×20



如图：

1. 刮刀3#
2. 尖刮刀1#
3. 单开提钩4#
4. 双开提钩2#
5. 鹤脖提钩1#
6. 圆竹批4#
7. 钩批2#
8. 压勺4#
9. 二型压勺1#
10. 压勺1#
11. 齐头压勺1#
12. 双齐头压勺2#
13. 秋叶2#
14. 法兰钩2#
15. 托兰根2#
16. 直角光子2#
17. 掸笔（3、7、6 cm）
18. 圆水笔φ16
19. 泥芯撑（中下）

网址：www.xgzjc.com 中文域名：铸造工具厂·中国 联系人：王丙迁 王恒果 手机：13803182813 13932828519  
 电话：0318-8438663 传真：0318-8438663 银行汇款：枣强县西果铸造工具厂  
 开户行：枣强县建设南路信用社 账号：181302011075956 农行金穗卡号：9559982130333299215（王丙迁）