

# 铝合金车轮热处理过烧研究

邱立宝, 程书建, 郭晓晓

(天津立中集团股份有限公司, 天津 300457)

**摘要:** A356.2合金固溶温度范围较小, 容易产生过烧现象, 使产品性能严重恶化。热处理过程要保证炉温的稳定性。采用EDS能谱、光谱分析、金相、炉温跟踪等对铸造铝合金车轮热处理过烧原因进行分析, 并进一步提出解决方案。结果表明: 固溶温度偏高、铸造组织不均匀是铝合金车轮热处理过烧的主要原因。

**关键词:** 铝合金; 车轮; 热处理; 过烧

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2018.14.047

中图分类号: TG166.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2018)14-0179-03

## Research on Heat Treatment Overheating of Aluminum Alloy Wheel

QIU Libao, CHENG Shujian, GUO Xiaoxiao

(Tianjin Lizhong Group Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

**Abstract:** The solution temperature range of A356.2 alloy is narrow, it is easy to overheat, and make the properties of A356.2 alloy deteriorate seriously. The stability of furnace temperature should be guaranteed during heat treatment. Using EDS spectrum, spectrum analysis, metallography, furnace temperature tracking and so on, the causes of heat treatment overheating of cast aluminum alloy wheels were analyzed. Further more, the solutions were proposed. The results show that, high solution temperature and uneven casting structure are the main causes of heat treatment overheating of aluminum alloy wheels.

**Key words:** aluminum alloy; wheel; heat treatment; overheating

汽车车轮是车辆重要的安全部件, 一般车轮材料大多选用黑色金属。随着技术的进步, 铝合金以其较高的比强度和比刚度成为汽车轻量化的首选材料。铸造铝合金车轮多选用 A356 为原材料, 利用低压铸造的方法铸造成型。T6 热处理工艺能够显著提升车轮性能。然而, 如果固溶温度偏高、铸件组织不均匀、炉内温度不均匀等都会导致铸件产生过烧, 使铸件性能恶化, 甚至报废<sup>[1-2]</sup>。

## 1 试验方法

低压铸造铝合金车轮选用 A356.2 为原材料, 合金化学成分见表 1。由于合金中含有 Mg、Si 等元素, 因此, 该合金能够进行热处理强化<sup>[3-8]</sup>。

表 1 A356.2 合金化学成分(质量分数, %)

Tab.1 Chemical composition of A356.2 alloy (wt%)

Si	Sr	Mg	Ti	Fe	Mn	Zn	Ca	Cu	Ni	Pb	Sn	Al
6.80~7.30	<0.025	0.28~0.32	0.08~0.13	≤0.14	<0.05	<0.05	<0.003	<0.05	<0.05	<0.01	<0.01	余量

收稿日期: 2017-11-02

作者简介: 邱立宝(1981-), 男, 天津人, 工程师, 主要从事铝合金低压铸造研究; 电话: 022-59889920; E-mail: qulibao@lzwheel.com

通讯作者: 程书建(1988-), 男, 硕士, 主要从事铝合金低压铸造研究; 电话: 022-59889935; E-mail: chengshujian@lzwheel.com

试验选用低压铸造铝合金车轮, 经 T6 热处理(表 2)后, 结果发现部分车轮轮辐根部出现结瘤。

表 2 T6 热处理工艺

Tab.2 T6 heat treatment process

固溶处理			时效处理		
温度 /°C	时间 /h	冷却方式	温度 /°C	时间 /h	冷却方式
540±5	6	水冷(75±10)°C	135±5	3	空气冷却

## 2 试验结果及分析

### 2.1 结瘤宏观形貌

结瘤位置如图 1 所示。

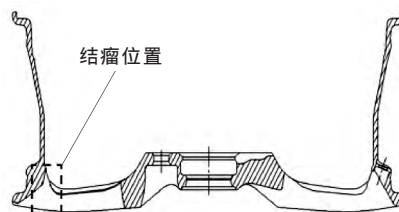


图 1 缺陷位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of defect location

结瘤形状为近球形, 大多露出铸件表面不足球体的二分之一, 结瘤形貌如图 2 所示。从图中能够发现, 结瘤呈现暗灰色, 在轮辐根部密集分布, 远离轮辐根部位置没有结瘤产生, 结瘤尺寸不一。所有铸

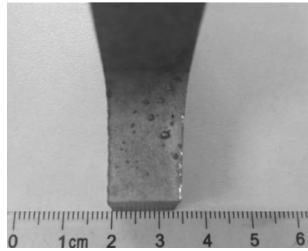


图2 结瘤宏观形貌

Fig.2 Macro morphology of nodulation

造车轮毛坯均通过 X 光无损检测<sup>[9]</sup>,未发现结瘤位置包含气孔、缩孔等能够引起铸件表面结瘤的缺陷,排除了因气孔导致铸件出现的热处理缺陷。

### 2.2 EDS 能谱分析

在低压铸造铝合金车轮生产过程中,对车轮进行 X 光无损检测,未发现气孔缺陷。因此,可以排除热处理过程中气体导致结瘤。铸造铝合金车轮轮辐根部和法兰盘为铸造热节,其中轮辐根部为直角,热量散失较慢,导致凝固较晚;轮辐根部含有较多的低熔点物质。EDS 分析结果显示,结瘤中的 Mg、Si 含量远远高于基体材料,而 Al 含量偏低,初步判定结瘤含有较多的 Mg<sub>2</sub>Si 或 AlSiMg 三元共晶化合物<sup>[10-11]</sup>。EDS 分析结果如图 3 所示。

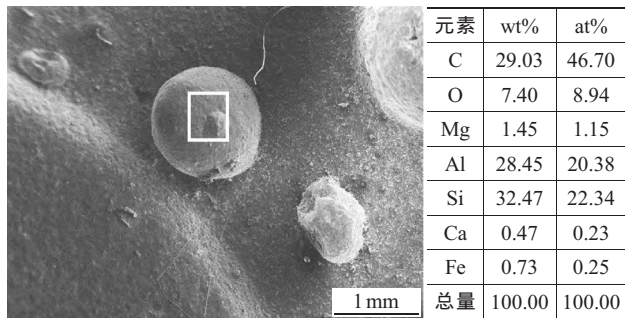


图3 结瘤 EDS 分析

Fig.3 EDS analysis of nodulation

### 2.3 光谱分析

铸造过程中凝固顺序的不同,从而导致铸件各部分之间的成分产生差异,往往使低熔点共晶组织聚集于最后凝固的位置。轮辐根部不同位置的化学成分见表 3。取样位置如图 4 所示。成分不均匀导致铸件各部分性能存在差异,热处理也会对铸件这些

表 3 轮辐根部不同位置的化学成分(质量分数,%)

Tab.3 Chemical composition of different position of spoke root (wt%)

试样	Si	Sr	Mg	Ti	Fe	Al
1#	8.2388	0.0207	0.3249	0.0765	≤0.1508	91.1497
2#	6.2291	0.0153	0.2787	0.1135	0.1397	93.2022

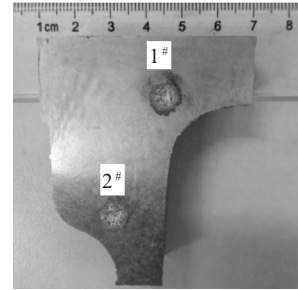


图4 取样位置示意图

Fig.4 Schematic diagram of sampling location

区域产生不同影响。

铸造铝合金车轮轮辐根部为铸造热节,凝固时间较长,往往会有缩孔、缩松等缺陷产生,组织致密性较低;晶粒长大时间长,晶粒尺寸大。该位置凝固较晚,低熔点物质在此位置聚集,如 Mg<sub>2</sub>Si、AlSiMg、AlSiMgFe 等共晶组织。固溶处理温度为 (540±5)℃,炉腔气氛温度为 550℃左右,而 AlSiMg 共晶组织的熔点为 555℃左右,炉腔气氛温度超过共晶熔点,使 AlSiMg 共晶组织熔化。另外,该位置组织疏松,因此产生结瘤现象,即过烧现象<sup>[12-15]</sup>。

### 2.4 金相分析

在结瘤附近截取试样,经过粗磨、细磨、抛光、腐蚀,观察试样金相组织,如图 5 所示。图 5(a)中能够看到“过烧复熔”。图 5(b)中能够看到“过烧三角”。合金凝固时,晶粒交叉处和晶界往往集中一些低熔点共晶体,热处理温度超过这部分的熔点,就可能会熔化,即“过烧复熔”<sup>[16-20]</sup>,晶界处复熔物在表面张力的作用下可能会形成三角,即“过烧三角”。

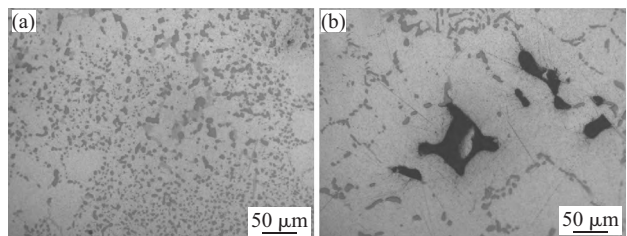


图5 试样金相组织

Fig.5 Metallographic microstructure of the sample

### 2.5 炉温曲线

热处理炉长期工作会使炉温偏离工艺范围。采用 SMT-12-256-700-K 型炉温跟踪仪测定炉温曲线,分别测试料架不同位置及炉腔气氛温度,选用 5 个车轮分别放置在料架的左上、右上、中间(炉气)、左下、右下方位,车轮上开有放置热电偶的测温孔,测试炉内不同位置工件的实际热处理温度,同时还有一

根热电偶测试炉腔气氛温度。测试结果见图6(a)。车轮上最高温度达到557℃,高于低熔点共晶组织温度。此外,每个位置的温度均存在超过工艺上限温度(545℃),因此,在此工艺条件下容易产生过烧现象。经过调整风机转向和热电偶测温位置,改变风机转向,使炉内各部分温度更加均匀,将热电偶设置在高温位置测温,过烧现象消失。调整后炉温更加稳定,各部分温度基本没有超出工艺范围,炉温曲线见图6(b)。

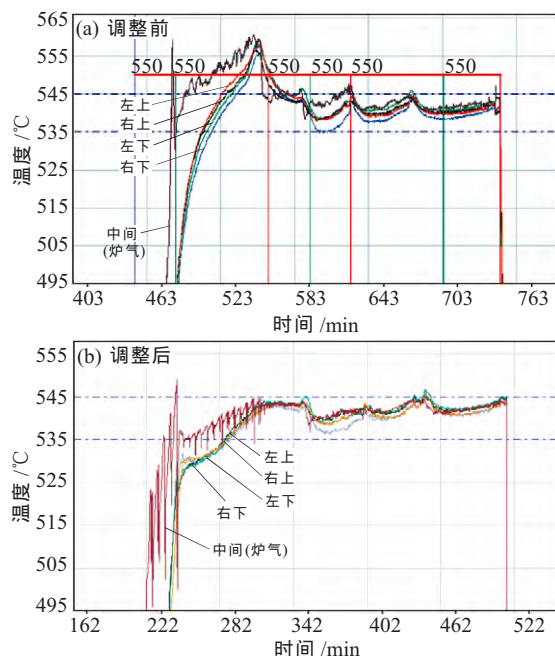


图6 炉温曲线  
Fig.6 Furnace temperature curves

### 3 结论

(1) 轮辐根部为热节部位,组织致密度低,且低熔点物质含量高,是容易产生过烧部位。

(2) A356.2 铝合金固溶温度为 $(540\pm 5)^\circ\text{C}$ ,当温度超过 $545^\circ\text{C}$ 时,容易产生过烧现象,使低熔点共晶熔化产生“过烧复熔”或“过烧三角”。

(3) 热处理炉风机转向会影响热量传送,导致各部位炉温差异大。进行定期检测热处理炉温,调整风机转向及温度,可降低过烧几率。

#### 参考文献:

[1] 王祝堂,田荣璋. 铝合金及其加工手册[M]. 长沙:中南大学出版社,2005.  
[2] Manente A, Timelli G. Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminum Alloys[M]. New York: In Tech,2011.  
[3] Lee C D. Effect of T6 heat treatment on the defect susceptibility of fatigue properties to microporosity variations in a low-pressure die-cast A356 alloy [J]. Materials Science &

Engineering A,2013,559(3):496-505.

[4] Peng J H, Tang X L, Jian T H E, et al. Effect of heat treatment on microstructure and tensile properties of A356 alloys[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011,21(9):1950-1956.  
[5] Ammar H R, Samuel A M, Samuel F H. Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys [J]. Materials Science & Engineering A,2008, 473(1/2):65-75.  
[6] Wang J, He S, Sun B, et al. Grain refinement of Al-Si alloy (A356) by melt thermal treatment [J]. Journal of Materials Processing Technology,2003,141(1):29-34.  
[7] Ogris E, Wahlen A, Lü chinger H, et al. On the silicon spheroidization in Al-Si alloys [J]. Journal of Light Metals, 2002,2(4):263-269.  
[8] Zhu M, Jian Z, Yang G, et al. Effects of T6 heat treatment on the microstructure, tensile properties, and fracture behavior of the modified A356 alloys [J]. Materials & Design,2012,36: 243-249.  
[9] 贺冠雄. 铝合金过烧组织无损鉴别分析 [J]. 热加工工艺, 2016,45(24):256-258.  
[10] Shivkumar S, Wang L, Keller C. Impact properties of A356-T6 alloys [J]. Journal of Materials Engineering and Performance,1994,3(1):83-90.  
[11] Li P, Nikitin V I, Kandalova E G, et al. Effect of melt overheating, cooling and solidification rates on Al-16wt% Si alloy structure [J]. Materials Science & Engineering A, 2002,332(1):371-374.  
[12] Jia X F, Wang Z F, Zhao W M, et al. Defects analysis and prevention measures of low pressure die casting of A356 aluminum alloy wheels [J]. Foundry,2010,59(12):1298-1302.  
[13] 张世兴,蒋国兴,高建华,等. 过烧对 7150 铝合金显微组织和性能的影响[J]. 轻合金加工技术,2010,38(5):53-55.  
[14] Akhil K T, Arul S, Sellamuthu R. The effect of heat treatment and aging process on microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy sections in casting [J].Procedia Engineering,2014,97:1676-1682.  
[15] 郭训. ZL104 热处理过烧组织的金相检验[J]. 热加工工艺, 1983,12(6):11-15.  
[16] Jiang W M, Fan Z T, Liu D J. Microstructure, tensile properties and fractography of A356 alloy under as-cast and T6 obtained with expendable pattern shell casting process[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2012,22(10):7-13.  
[17] 张大新,杨瑞成. 6005 铝合金的过烧温度及其组织特征[J]. 轻合金加工技术,2011,39(4):39-42.  
[18] 李延军,王彦俊,陈立超,等. 7005 铝合金过烧温度的研究[J]. 热处理技术与装备,2013,34(2):11-14.  
[19] Taherishargh M, Belova I V, Murch G E, et al. On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite-aluminum syntactic foam [J]. Materials & Design,2014,63(2):375-383.  
[20] 蔡静. 热处理对 6061 铝合金组织与力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2016,36(9):996-999.