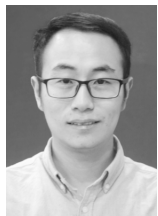


文章编号:1673-9981(2020)02-0144-03

# 轮毂用 A356 合金旋转喷吹精炼工艺研究

孙冬恩<sup>1</sup>,程和法<sup>1</sup>,朱启明<sup>1</sup>,刘军<sup>2</sup>,莫海<sup>2</sup>

1. 合肥工业大学 材料科学与工程学院,安徽 合肥 230009;2. 安徽托普勒汽车科技有限公司,安徽 安庆 246000



**摘要:**通过对 A356 合金旋转喷吹精炼工艺的正交试验,分析了影响旋转喷吹精炼工艺的 3 个因素,包括喷头转速、氮气通入量、精炼除气时间. 试验结果表明:影响旋转喷吹精炼工艺的因素依次为喷头旋转速度>氮气通入量>精炼除气时间;最佳的旋转喷吹精炼工艺参数为喷头转速 1200 r/min、氮气流量 3.0 Nm<sup>3</sup>/h、除气时间 12 min,在此工艺参数条件下精炼除气效果最佳.

**关键词:**A356 合金;旋转喷吹法;精炼

**中图分类号:**TG146.2

**文献标识码:**A

A356 合金是美国于二十世纪 70 年代研制的铝合金,为常用的铸造 Al-Si-Mg 系合金,自诞生以来迅速应用在汽车上作为轮毂的材料,打破了传统钢制轮毂材料的限制<sup>[1]</sup>. Al-Si 合金具有严重的氧化和吸气倾向,熔炼过程中又直接与炉气或外界大气相接触,很容易形成气孔和氧化夹渣等缺陷,严重影响铸件的外观和质量,因此,提高铝合金的熔体质量,净化合金液,是铝合金熔炼的关键技术之一. 铝合金熔体的精炼是获得洁净金属液、提高合金性能的关键措施,铝合金熔体精炼效果对避免疏松、气孔、夹杂等缺陷的形成有重要影响,且直接影响铝铸件的物理性能、力学性能和使用性能<sup>[2-5]</sup>.

本研究采用通入高纯度氮气的旋转喷吹装置的精炼工艺,应用正交实验法对比旋转喷吹精炼工艺参数,对 A356 合金精炼效果进行对比分析,优化得出最佳的旋转喷吹工艺参数,以期能为 A356 合金精炼净化工艺提供参考.

入纯度为 99.99% 的氮气,用型号为 JJZS-20T 的熔炼炉进行熔炼,精炼设备为 FFD210 精炼除气设备. 采用真空凝固法测量密度,定量对比分析精炼除气效果.

首先将氧化锌涂料涂满取样模具并进行烘干预处理,精炼除气结束后将密度汤杯模具用火钳夹住至铝液中,轻轻拨开铝液表面,汤杯模具至液面下 1 cm 处取出铝液,倒掉 1/3 后迅速放入真空机中进行抽真空处理,使铝液在真空环境中缓慢凝固,溶解在铝液中的氢气析出,从熔体表面逸出,经 180 s 后取出密度试样并进行水冷,擦拭干净后在密度天平上进行密度测量.

$$\rho = \frac{A}{A-B} \times (\rho_0 - \rho_1) + \rho_1 \quad (1)$$

式(1)中: $\rho$ —样品密度; $A$ —样品在空气中的质量; $B$ —样品在水中的质量; $\rho_0$ —水的密度; $\rho_1$ —空气密度(0.0012g/cm<sup>3</sup>)

表 1 实验材料的化学成分

Table 1 Composition analysis of experimental steels						
成分	Si	Mg	Sr	Ti	Fe	Al
含量 $\omega/\%$	7.16	0.31	0.015	0.16	0.11	Bal.

## 1 试验

### 1.1 试验材料及方法

试验材料采用 A356 合金,其成分列于表 1. 通

## 1.2 正交试验

影响旋转喷吹精炼工艺的因素主要有喷头的结构、喷头转速、气体流量、精炼温度、除气时间等。本研究参考其他相关经验成果,在试验时考虑了以下几个可控的影响因素:喷头转速、气体流量和除气时间,每个可控影响因素设定 3 个水平,因素水平方案见表 2。在试验中,每炉取样 3 次,记录密度平均值作为对比分析数据。

表 2 影响因素水平表  
Table 2 Influencing factor level table

因素	A 喷头转速 /( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	B 氮气流量 /( $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	C 除气时间 /min
水平 1	1100	2.8	10
水平 2	1200	3.0	12
水平 3	1300	3.2	14

## 2 试验结果及分析

根据正交试验设计不同因素及水平搭配下的试验方案,相应的密度表征试验结果列于表 3。

图 1 为三因素与密度平均值的关系图。从图 1 可以看出,喷头转速极差最大,氮气流量的极差次之,

除气时间的影响最小。因此,理论上试验最优条件为  $A_2B_2C_2$ ,即喷头转速 1200 r/min、氮气流量 3.0  $\text{Nm}^3/\text{h}$ 、除气时间 12 min。为验证试验结果,按最佳试验方案进行 3 组重复试验。试验结果表明,三次验证试验结果平均密度为 2.68  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,针孔度标准判级  $\leq 1$ ,为最优的等级。由此可证明,由正交试验所确定的最优方案是合理的。

表 3 试验方案表  
Table 3 Experimental plan

试验号	因素			密度 /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
	喷头转速 A /( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	氮气流量 B /( $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	除气时间 C /min	
1	1	1	1	2.490
2	1	2	2	2.661
3	1	3	3	2.610
4	2	1	3	2.667
5	2	2	1	2.675
6	2	3	2	2.670
7	3	1	2	2.540
8	3	2	3	2.570
9	3	3	1	2.600

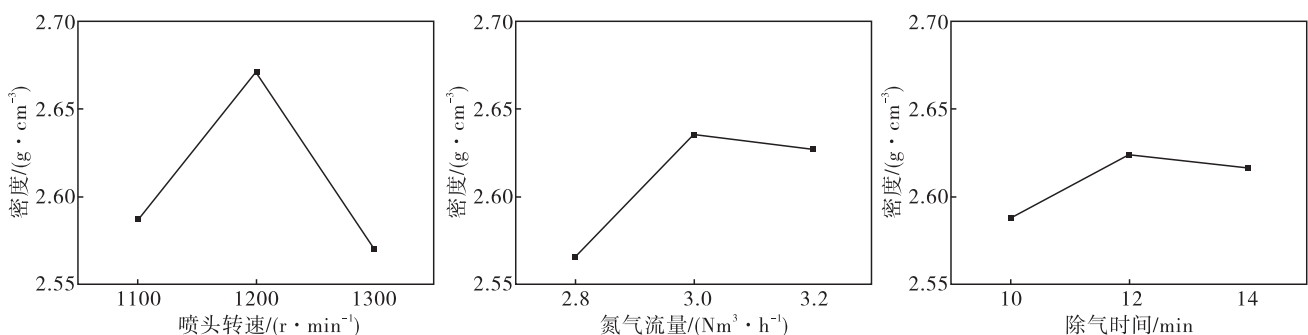


图 1 三因素与密度关系图

Fig. 1 Three factors and density relationship diagram

向铝液中通入氮气,由于溶于铝液中氢的化学位较高,可直接向这些初始无氢的气泡中迁移,然后进入净化气泡中的氢便随气泡在铝液中向上浮游而逸出铝液。要优化铝液除氢的工艺参数,则要改善除氢的动力学条件。

铝液除氢动力学方程为:

$$\ln \frac{H-H_s}{H_0-H_s} = \frac{1}{2.3} \cdot \frac{A}{V} kt \quad (2)$$

式(2)中: $H$ —时间  $t$  时铝液内部的氢浓度; $H_0$ —铝液内部的原始氢浓度; $H_s$ —气液界面处氢浓度; $A$ —铝合金液与精炼气体的接触面积; $V$ —铝液的体积; $k$ —氢在铝液中的传质系数; $t$ —气液接触时间。

由铝液除氢动力学方程可知,为改善其除氢效果可从以下途径着手:尽可能增加铝液中的气泡数目,以增加气泡与铝液两相间的有效接触比表面积( $A/V$ );尽可能减小气泡直径,并在不导致铝液飞溅的情况下设法增大气泡在铝液中的运动速度,以增大搅动强度;尽可能增长气泡在铝液中的浮游路程,以增加气泡在铝液中的停留时间<sup>[7]</sup>.

从试验与验证试验的结果可知,喷头转速是影响精炼除气最大的一个因素,这是因为转速能最有效的改善除氢动力学条件,铝液在喷头的旋转作用下形成湍流,引起铝液不同层流间的相互移动,使得从旋转喷头喷射出来的气泡受到两层流体产生的切应力的作用<sup>[8]</sup>.当切应力大于气泡的承受能力时,便被从中切断,分裂成两个小气泡.转速较低时对氮气体打散程度较差,转速较高时会不同程度的引起铝液液面翻滚而降低精炼效率.当转速在 1200 r/min 时,对氮气体打散程度最优,精炼效果最佳.

氮气通入量对精炼效果的影响是第二位的,因为气流量大,产生细小的气泡越多,停留在铝液中的气泡就越多,能够有效的改善铝液除氢动力学条件,但是,氮气通入量不是越大越好,氮气通入量小时,不能有效除氢,氮气通入量过大时,会引起铝液液面翻滚.

精炼除气时间对精炼效果影响最小,当除气时间短时,除气效果不足,随着除气时间延长,铝液中的氢含量逐渐下降,到一定的时间后趋于平衡,再延长除气时间,也没有更大效果,如果通入的氮气体不能及时上浮出熔液,在凝固时就有可能形成针孔.

### 3 结 论

通过制定合理的正交试验,结合铝液除氢动力学得出,喷头转速和氮气通入量是影响 A356 合金旋转喷吹除气效果最重要的两个因素,并确定最优的精炼工艺参数:喷头转速 1200 r/min、氮气流量 3.0 Nm<sup>3</sup>/h、除气时间 12 min.真空凝固后使用密度天平测得铝液平均密度为 2.68 g/cm<sup>3</sup>,针孔度标准判级 $\leq 1$ 为最优的等级,精炼除气效果最佳.

#### 参考文献:

- [1] 秦晓雄,杨运宇,冯邵凯,等. Al-5Ti-B 细化剂对 A356 合金微观组织的影响 [J]. 材料研究与应用, 2017, 11 (1): 9-12.
- [2] 王莹莹,边秀芳,侯敏,等. 铝合金轮铸件质量改进工艺探讨 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29 (5): 474-476.
- [3] 张江峰,刘云,侯击波. 旋转喷吹法对铝合金精炼的试验研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2008, S1: 198-200.
- [4] 马洪岩,杨金山. 铝合金熔炼过程精炼除气规律研究 [J]. 金属材料与冶金工程, 2018(3): 34-38.
- [5] 周明安. 汽车用 5052 铝合金的除氢工艺研究 [J]. 热加工工艺, 2012(3): 47-49.
- [6] 郝邵文. 密度测量法在 A356.2 铝合金生产中的应用 [J]. 轻合金加工技术, 2009, 37(11): 27-28.
- [7] 伍功维. 旋转喷吹法铝液净化的效果研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2006.
- [8] 杜旭初,洪润洲,陈邦峰,等. ZL101A 合金旋转喷吹精炼工艺研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33 (7): 686-688.

## Study on rotary injection refining technology of A356 alloy for wheel hub

SUN Dongen<sup>1</sup>, CHENG Hefa<sup>1</sup>, ZHU Qiming<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>2</sup>, MO Hai<sup>2</sup>

1. School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Anhui Toppler Automotive Technology Co., Ltd., Anqing 246000, China

**Abstract:** Based on the orthogonal test of A356 alloy rotary jet refining process, three factors affecting the process were analyzed, including nozzle rotation speed, nitrogen flow rate and refining degassing time. The test results showed that the factors influencing the process in turn were nozzle rotation speed, nitrogen flow rate and refining degassing time. Through the orthogonal test and verification test, it was found that the most important factor affecting the process was nozzle rotation speed, nitrogen flow rate and refining degassing time. The best technological parameters of rotary jet refining are nozzle speed 1200 r/min, nitrogen flow 3.0 Nm<sup>3</sup>/h and degassing time 12 min. under these technological parameters, the degassing effect is the best.

**Key words:** A356 alloy; rotary injection method; refining