

ZL114A 合金旋转喷吹精炼工艺研究

Study on Rotary Impeller Degassing of ZL114A Alloy

洪润洲, 周永江, 姚惟斌, 熊艳才

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

HONG Run-zhou, ZHOU Yong-jiang, YAO Wei-bin, XIONG Yan-cai

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 采用旋转喷吹精炼工艺精炼 ZL114A 合金, 通过选择设备不同的喷头转速、气体流量, 确定了最佳的设备参数。研究了金属液中氢含量随精炼时间的变化规律, 确定了 ZL114A 合金的旋转喷吹精炼工艺参数; 比较了精炼前后镁含量的变化, 并测试了旋转喷吹精炼后合金的性能。结果表明, 采用旋转喷吹精炼工艺精炼前后镁含量的变化很小, 合金熔体纯净度高, 合金的性能较高。

关键词: 旋转喷吹精炼; 精炼时间; ZL114A 合金; 氢含量; 镁含量; 力学性能

中图分类号: TG146.2⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007)03-0046-03

Abstract: Rotary impeller degassing has been used to refine ZL114A alloy. The parameters of the refining equipment has been settled with comparing effect of different impeller rotation speed and flux of Ar₂, the rule of content of H₂ with refining time has been studied, and the best process parameters of rotary impeller degassing has been carried out. The content of Mg before and after refinement has been compared and the mechanical properties of ZL114A after refinement has been tested, the results indicate that the reduction of content of Mg is very low, the mechanical properties of ZL114A after refinement is high.

Key words: rotary impeller degassing; time of refinement; ZL114A alloy; content of H₂; content of Mg; mechanical property

铸造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, 实际生产中, C₂Cl₆ 是最常用的精炼剂。C₂Cl₆ 具有很好的精炼效果, 但该工艺在精炼过程中产生的气体具有较强的污染性, 且使合金中的 Mg, Na, Sr 等元素烧损严重。近年来, 以高纯氩气或氮气为精炼剂的物理精炼方法由于具有比较好的精炼效果和无污染性而得到了广泛的应用, 国内外对此进行了广泛和深入的研究, 并开发研制出多种精炼工艺及设备, 如: 美国碳化物公司的 SNIF 法, 法国彼西涅公司的 Alpur 法, 英国联合铝业公司的 RDU 法等^[1]。

本研究采用以高纯氩气为精炼剂的旋转喷吹精炼工艺, 通过选择不同的设备参数和精炼工艺参数; 研究了 ZL114A 合金的旋转喷吹精炼工艺和旋转喷吹精炼前后 Mg 含量的变化, 并测试旋转喷吹精炼后合金的性能。

1 实验过程及方法

本实验采用 XP-60 旋转喷吹精炼设备, 该设备的

喷头转速有 1400, 1000, 500r/min 三档, 气体流量连续可调; 精炼剂为高纯氩气, 熔炼设备为 100kg 坩埚式电阻炉。

将 ZL114A 合金熔化, 在 720~730℃保温。精炼前浇注一个光谱分析试样。精炼时, 根据喷头的不同转速在坩埚内使金属液面产生的扰动情况确定合理的转速, 转速确定后, 从 10mL/min 开始连续调节氩气流量, 观察液面状况, 确定合理的气体流量。

在确定的设备参数条件下, 对 ZL114A 合金精炼 40min, 每隔 10min 取一次样, 浇注成固态测氢试样, 分析精炼不同时间后合金中的氢含量。将精炼 40min 后的金属液浇注成光谱分析试样和力学性能试样, 从光谱分析试样上取样分析镁的含量, 力学性能试样经 T6 处理后, 测试其抗拉强度和延伸率。

2 实验结果

当喷头转速选择 1400r/min 和 1000r/min 时, 坩埚内的金属液面产生扰动, 喷头转速 500r/min 时, 液面平静, 因此, 喷头旋转选择 500r/min。当氩气流量

小于 50mL/min 时,上浮至液面的气泡量少,且不能全部覆盖整个液面;氩气流量在 50~ 60mL/min 范围内,液面比较平静,整个液面有弥散的气泡浮出,且液面无沸腾现象;氩气流量大于 60mL/min 时,液面有沸腾现象,因此,氩气流量选择 50~ 60mL/min。

在确定了喷头转速和氩气流量后,研究了精炼对合金成分和熔体氢含量的影响。精炼时间对熔体氢含量的影响如表 1 所示,精炼前和精炼 30min 后,合金中元素 Mg 含量的变化如表 2 所示,试棒经 T6 处理后的力学性能如表 3 所示,表 2 和表 3 种同时给出了 C₂Cl₆ 精炼前后合金中元素 Mg 含量的变化和精炼后合金的性能。

表 1 旋转喷吹精炼时间对氢含量的影响
Table1 Effect of time of rotary impeller degassing process on the content of hydrogen

| Time/min | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|------|------|------|------|------|
| Content of hydrogen/ (μg·g ⁻¹) | 0.17 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |

表 2 ZL114A 合金中镁含量在精炼前后的变化
Table 2 The variation of mass fraction of Mg in ZL114A alloy before and after refinement

| Refinement method | Before refinement/ % | After refinement / % | Lost value/ % |
|--|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Rotary impeller degassing process | 0.71 | 0.70 | 1% |
| Refine with C ₂ Cl ₆ | 0.72 | 0.58 | 19.4% |

表 3 T6 处理后 ZL114A 合金的性能
Table 3 Mechanical properties of ZL114A alloy after T6 heat treatment

| Refinement method | σ _b /MPa | δ ₅ /% |
|--|---------------------|-------------------|
| HB963-90 | 310 | 3 |
| Rotary impeller degassing process | 355 | 11.8 |
| Refine with C ₂ Cl ₆ | 350 | 8.3 |

由以上数据可以看出,ZL114A 合金在精炼 10min 后的氢含量下降很多,之后氢含量的下降很缓慢,精炼 30min 后,氢含量降至最低。镁含量在精炼前后的含量变化很小,仅为 1% (质量分数,下同),采用 C₂Cl₆ 精炼后,元素 Mg 的烧损达到 19%,烧损率高于旋转喷吹精炼工艺。两种精炼方法的试棒经 T6 处理后的拉伸性能均超过了 HB962-90 的规定值^[2],旋

转喷吹精炼后合金的延伸率比 C₂Cl₆ 精炼的高。

3 分析和讨论

3.1 铝液温度、喷头转速、氩气流量、精炼时间对精炼效果的影响

溶解在铝合金中的气体主要是氢,溶解在液态铝合金中的氢浓度由 Siever 定律决定^[3,4]:

$$[H] = K_H \sqrt{P_{H_2}} \tag{1}$$
$$K_H = -A/T + B \tag{2}$$

其中:[H] 为铝液中氢的浓度;P_{H₂} 为铝合金液面上氢的分压;K_H 为氢在铝液中的溶解度系数;T 为铝液的绝对温度;A、B 为和铝液中的合金元素有关的常数。

铝液除气的动力学过程可用下式表示:

$$\lg \frac{[H]_t - [H]_s}{[H]_0 - [H]_t} = \frac{1}{2} \frac{A}{3V} \beta t \tag{3}$$

式中:β 为传质系数,与熔体的流速、粘度、密度、扩散系数及相界面形状、大小有关;V 为熔体的体积;A 为反应的界面面积;[H]_s 为铝液界面上的气体浓度;[H]₀ 为铝液反应前的气体浓度;[H]_t 为铝液反应 t 时间后的气体浓度;t 为作用时间。

由式 1、2 可知,铝合金液面上的氢分压越低,氢在合金液中的溶解度就越低。旋转喷吹精炼工艺就是在合金液中产生起始氢分压为零的惰性气体气泡,使溶解在合金液中的氢在浓度梯度的作用下向惰性气体气泡内扩散,从而降低合金液中的氢含量。金属液的温度越低,氢在铝液中的溶解度越小,有利于降低合金液中的氢含量。温度较高时,可使金属液的粘度降低、增强原子的扩散、有利于气泡的上浮,对降低铝液中的氢含量有利^[3],但金属液温度的升高会增加镁等易烧损元素的烧损。旋转喷吹精炼过程是一个温度不断降低的过程,为保证除气效果,必须使金属液的温度保持在 720~ 730℃。由表 3 可以看出,在此温度下,精炼 30min 后,金属液中的氢含量即降至很低,而对合金中的易烧损元素镁的含量影响很小。

由动力学方程可以看出,提高气泡和铝液的接触面积,增大传质系数,延长作用时间,可降低气体最终的浓度。所以,采用惰性气体旋转除气精炼铝合金时,控制进入金属液内的气体流量,使从旋转的喷头吹出的气泡尽可能细小,细小气泡和铝液反应的总界面积大,且上浮缓慢,和铝液的作用时间长;在离心力的作用下,细小气泡能够扩散到离坩埚中心较远的距离,使整个坩埚内气泡的分布比较均匀。在保证液面不产生扰动的前提下,喷头的转速应较快,这不仅使气泡能扩散到较远的位置,而且增强了金属液得搅拌,使传质系

数提高。在本实验条件下, 氩气得流量控制在 50~60 mL/min, 喷头的转速选择低速(500r/min)。为保证使金属液中的氢含量降至最低, 必须保证足够长的精炼时间, 由表 1 可以看出, 到精炼时间为第 30min 时, 金属液中的氢含量基本降至最低, 仅为 0.03 μ g/g, 且基本保持恒定。

3.2 惰性气体精炼对 Mg 含量的影响

镁是 ZL114A 合金中主要的强化元素之一, 由于其化学性质很活泼, 在熔炼过程中非常容易烧损, 含量下降, 使合金的抗拉强度和屈服强度降低。旋转喷吹精炼是物理精炼方法, 惰性气体氩气和镁元素不反应。旋转喷吹精炼过程中, 细小的气泡上浮缓慢, 液面比较平静, 元素镁和大气接触的机会减小, 所以, 旋转除气精炼对元素镁的烧损很小。 C_2Cl_6 精炼时, 镁元素的烧损可达 10%~20%, 而旋转除气精炼前后镁元素的烧损率仅为 1%, 烧损量大大降低, 易于控制合金成分, 对合金的性能有益。

3.3 惰性气体精炼对合金性能的影响

合金中的氢和夹杂物的含量对合金性能有重要影响。高含量的氢在合金凝固后形成针孔缺陷, 针孔缺陷对合金的强度、延伸率都非常有害。通常情况下, 随着针孔等级的增加, 力学性能呈直线下降, 针孔度每增加一级, 抗拉强度下降约 6%, 延伸率下降约 11%^[2]; 而合金中的夹杂物则起着割裂合金基体的作用, 在铸件承受载荷时, 这些夹杂物又成为裂纹的源头, 因此, 夹杂物的含量对合金的强度、延伸率和疲劳性能影响非常明显。在合金成分、热处理状态确定时, 降低合金中的氢和夹杂物的含量对提高合金的性能非常关键。图 1 为 ZL114A 合金经旋转除气精炼、T6 处理后的金相组织, 金相组织上可以看出, 没有针孔缺陷, 且无夹杂物。由表 1 也可看出, 由于旋转喷吹精炼 ZL114A 合金具有很好的除氢、除杂效果, 合金的延伸率比 C_2Cl_6 精炼的高, 使合金获得了比较好的力学性能。

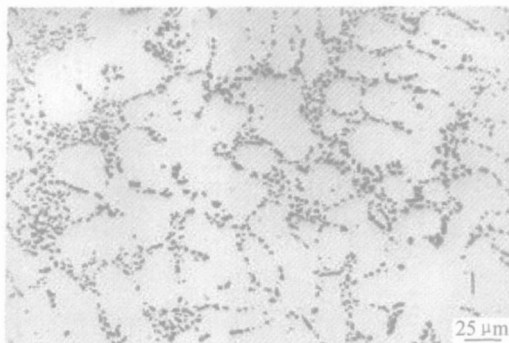


图 1 ZL114A 合金金相组织

Fig. 1 Microstructure of ZL114A Alloy

4 结论

(1) 在本实验条件下, ZL114A 合金合理的旋转喷吹精炼工艺为, 铝液温度: 720~730℃; 喷头转速: 500r/min; 氩气流量: 50~60 mL/min; 精炼时间: 20~30min, 铝液中的氢含量可降至 0.03 μ g/g。

(2) 采用旋转除气精炼工艺使铝硅系合金中的镁含量烧损大大降低, 从而实现合金化学成分和力学性能的控制。

参考文献

- [1] 巫瑞智, 倪红军, 翟长生, 等. 铝熔体吹气除氢净化技术[J]. 铸造技术, 2003, 24 (3): 12-14.
- [2] 袁成祺. 铸造铝合金、镁合金手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [3] 杨长贺. 铝合金熔体净化[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1991.
- [4] 郑来苏. 铸造有色合金及其熔炼[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.

收稿日期: 2006-04-11; 修订日期: 2006-09-05

作者简介: 洪润洲(1972-), 硕士, 工程师, 从事铸造铝合金及铝合金精密铸造工艺的研究和开发工作, 联系地址: 北京市 81 信箱 2 分箱(100095)。

欢迎订阅《材料工程》

《材料工程》主要刊登有关材料科学与工程方面的学术论文, 同时刊登综合性评述, 报道新材料、新工艺、新产品信息, 及时、准确反映国内材料领域最新成就和最新进展。《材料工程》是美国工程索引(EI)收录期刊, 是中国科技论文统计分析用刊, 同时入选《中文核心期刊要目总览》、中国科学引文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版)及万方数据网和中国期刊网。在国内外材料科技期刊中具有一定的地位和影响。本刊设有“测试与表征”、“表面工程”、“工艺”、“综述”等栏目。同时欢迎国内外厂商刊登广告, 价格优惠。

《材料工程》为月刊, 大 16 开本, 精美印刷, 每期 10.00 元, 全年 12 期 120 元。需订阅者可向本刊编辑部索取订单, 或直接汇款至编辑部即可。

地 址: 北京 81 信箱 62 分箱《材料工程》编辑部

邮 编: 100095

电 话: (010) 62496276