

铝合金车轮内轮缘伸长率性能研究

叶 珍, 朱大智, 张少文

(保定市立中车轮制造有限公司, 河北省高强韧轻量化车轮技术创新中心, 河北保定 071000)

摘要: 内轮缘伸长率性能是衡量铸造铝合金车轮品质的重要指标, 也是铝合金车轮的技术攻关难点, 内轮缘伸长率主要受此部位微观缩松和二次枝晶间距的影响。运用模拟分析软件对多种铸造条件下的内轮缘区域微观缩松情况和二次枝晶间距进行理论研究和DOE分析。结果表明: 内轮缘是整个铝合金车轮上比较容易产生微观缩松的区域, 同时也是二次枝晶间距数值相对较小的区域; 铸造条件调整对内轮缘区域的微观缩松和二次枝晶间距影响往往是相反的, 在解决实际问题时只有辨别影响其伸长率性能的主要影响因素, 才能找到有效地调整措施。

关键词: 铝合金车轮; 内轮缘; 伸长率; 模拟分析; 微观缩松; 二次枝晶间距

车轮作为汽车上最重要的承载零件, 安全可靠性能显得尤为重要。对于铸造铝合金车轮来说, 缩松缺陷和力学性能是影响其安全可靠性能的重要指标, 铸造过程控制决定着这两个指标的好坏。其中缩松缺陷可以实现X-ray设备的全检, 可以弥补过程中控制可能存在的不足; 而力学性能的检测属于破坏性检测, 只能做到抽检, 只能通过良好的过程控制来保证。

对铝合金车轮来说, 不同的部位有不同的要求, 而且每个客户的要求也有一定差异, 其中内轮缘伸长率是评估车轮力学性能最重要的几个项目之一^[1]。我们以内轮缘性能作为研究目标, 借助MAGMA铸造模拟软件来研究不同铸造条件对其影响的好坏。

1 对铝合金车轮内轮缘伸长率的影响

1.1 内轮缘伸长率影响因素

通过多年的力学性能检测和分析发现, 微观缩松(X-ray无法检测到缩松)、氧化渣、二次枝晶间距偏大等因素是导致铸造铝合金车轮内轮缘伸长率偏低甚至不合格的主要原因。其中氧化渣问题主要受铝液纯净度的影响, 在此不做过多研究。本文主要分析受铸造条件影响较大的微观缩松和二次枝晶间距问题。图1是针对内轮缘断口的电镜扫描结果, 可以发现断口处存在微观缩松, 拉棒很容易在此处拉伸使伸长率偏低; 图2是内轮缘的二次枝晶间距结果, 二次枝晶间距越小, 伸长率性能越好^[2-3]。

1.2 影响内轮缘伸长率的铸造条件

对于改善内轮缘伸长率优化铸造条件(图3)主要从以下几个因素进行调整: ①调整铸件壁厚; ②调整模具壁厚; ③调整内轮缘冷却; ④调整R角冷却; ⑤调整充型段加压速度。实践证明, 对这5个铸造条件进行调整都可以改善内轮缘伸长率, 但在实际操作中不同产品的调整方案各不相同或相同的调整方案在不同产品上出现作用不同, 甚至出现相反的情况。

从前面的介绍可知, 影响内轮缘伸长率性能好坏的关键因素有微观缩松和二次枝晶间距, 所以将微观缩松和二次枝晶间距状态作为研究对象, 利用MAGMA铸造模拟软件来分析上面5种铸造条件对它们的影响。

作者简介:

叶 珍(1974-), 男, 高级工程师, 工学学士, 主要从事汽车铝合金车轮的研发和制造。电话: 0312-5997671, E-mail: yezhen@lzwheel.com

通讯作者:

朱大智, 男, 工程师。电话: 15720176853, E-mail: zhudazhi@lzwheel.com

中图分类号: TG 146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)06-0647-05

收稿日期:

2020-03-04 收到初稿,
2020-04-10 收到修订稿。

2 利用MAGMA软件进行分析研究

2.1 分析方案介绍

首先,选取一款正常的产品提取其铸造条件设定为方案1,其中模具冷却系统使用压缩空气进行冷却,压缩空气的气压为6 bar左右,通过控制压缩空气的用量体积来调整冷却强度。以方案1为基础只调整铸件壁厚设定为方案2,以方案1为基础只调整模具壁厚设定为方案3,以此类推再分别设定方案4、方案5、方案6,具体参数调整见表1。方案2到方案6与方案1相比,分别对应着一个铸造条件变化点,正如前述这5个铸造条件正是内轮缘伸长率的影响条件。

2.2 方案模拟与分析

根据上述铸造条件参数及相关的模拟条件,利用MAGMA模拟软件分别对6个方案进行铸造分析,提取微观缩松和二次枝晶间距两个模拟结果进行分析研究。

图4是6个方案的微观缩松结果,可以看出,6个方案的内轮缘位置均出现了不同程度的微观缩松,其中方案2微观缩松最少,方案3次之,微观缩松越少,内轮缘伸长率性能越好。

图5是6个方案的二次枝晶间距结果,可以看出,内轮缘是铝合金车轮上二次枝晶间距相对较小的位置,6个方案中方案2、方案3又是二次枝晶间距偏大的方案,二次枝晶间距越大,内轮缘伸长率性能越差。

2.3 模拟方案的 DOE 分析

通过图4、图5的结果对比图只能大概评估方案的差异或对局部数据进行对比分析,不能对方案的优劣进行准确评估。利用MAGMA软件的DOE功能可以整合6个方案的模拟结果,进行更加全面准确的分析与研究。首先,将提取整个内轮缘区域作为分析区域,然后,设定两个评价目标,一是内轮缘区域缩松评价值最小,二是内轮缘区域的二次枝晶间距平均值最小。通过MAGMA软件的DOE模块进行计算分析,可以得到关于微观缩松和二次枝晶间距的趋势图(图6)。

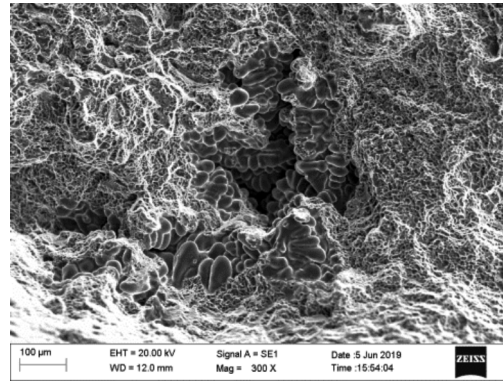


图1 铝合金车轮内轮缘的微观缩松

Fig. 1 Micro porosity of aluminum alloy inner wheel rim

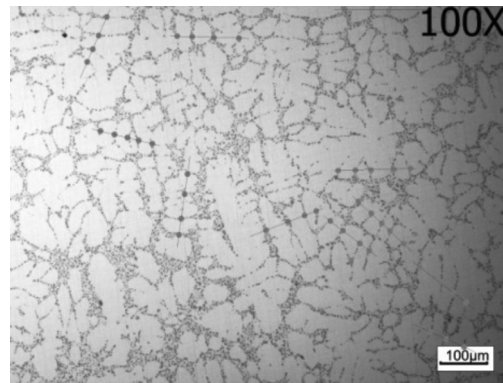


图2 铝合金车轮内轮缘的二次枝晶间距

Fig. 2 SDAS of aluminum alloy inner wheel rim

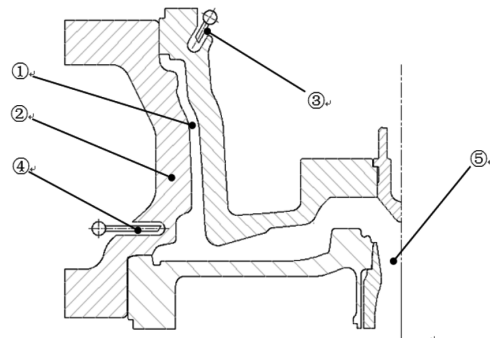


图3 铸造条件示意图

Fig. 3 Schematic diagram of casting conditions

表1 铸造条件与方案
Table 1 Casting conditions and schemes

方案	铸件壁厚/mm	模具壁厚/mm	内轮缘冷却/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	R角冷却/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	充型段加压速度/($\text{mbar} \cdot \text{s}^{-1}$)
方案1	11.6~12.6	40	60	90	6
方案2	11.8~13.8	40	60	90	6
方案3	11.6~12.6	25	60	90	6
方案4	11.6~12.6	40	90	90	6
方案5	11.6~12.6	40	60	60	6
方案6	11.6~12.6	40	60	90	4

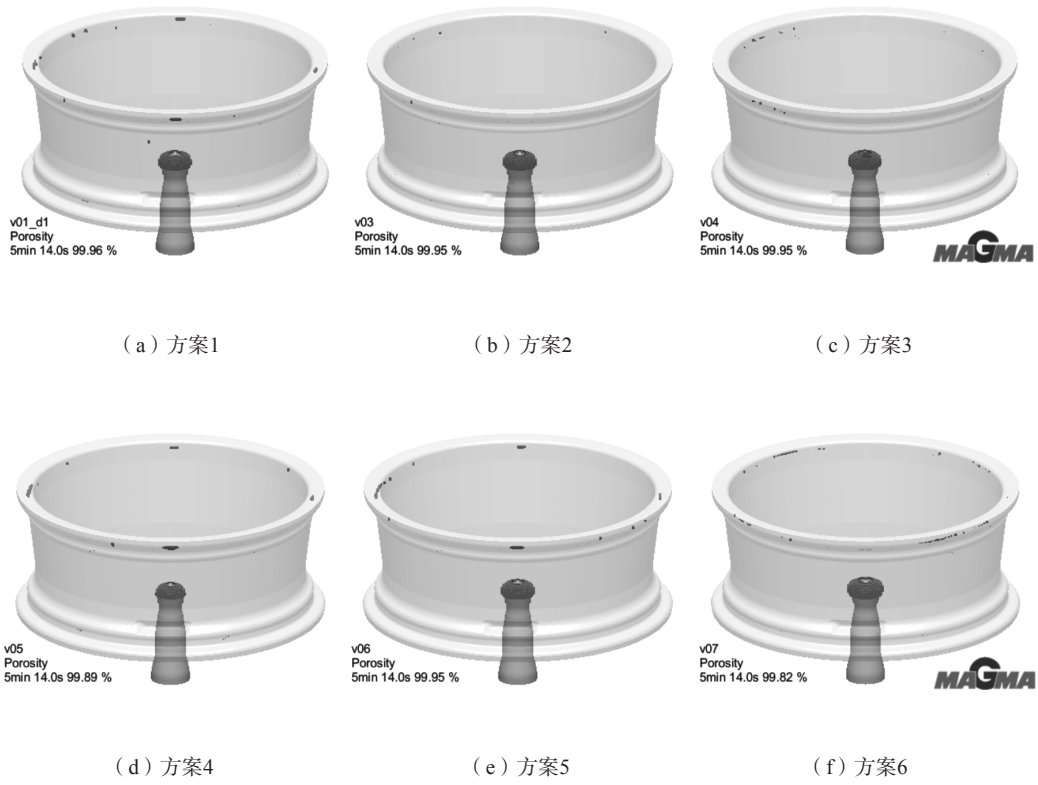


图4 微观缩松结果对比图

Fig. 4 Comparison of micro porosity simulation results under various casting conditions

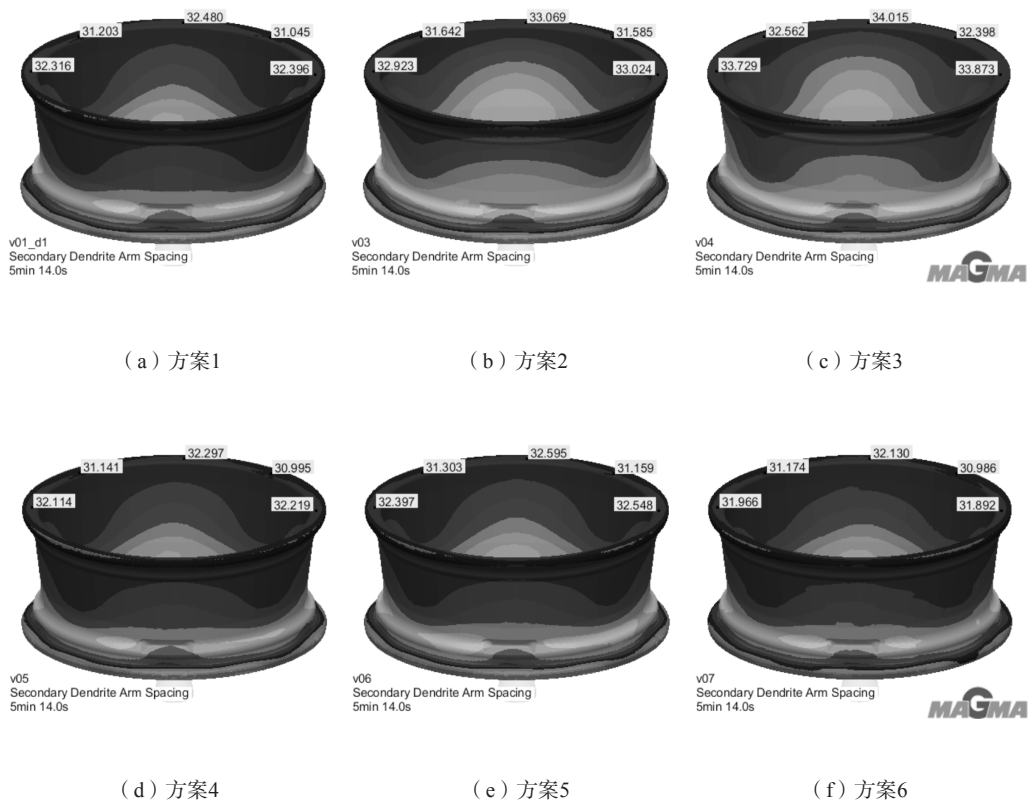


图5 二次枝晶间距结果对比图

Fig. 5 Comparison of SDAS simulation results under various casting conditions

通过上面的趋势图可以看出, 铸造条件的改变对两个评价目标的影响往往是相反的, 例如增加铸件壁厚可以明显地减小微观缩松, 却增大了二次枝晶间距; 方案6是其中的最优方案, 通过降低充型段加压速度既可以减少微观缩松又可以减小二次枝晶间距。

2.4 模拟分析总结

铝合金车轮内轮缘位置是容易产生微观缩松缺陷的区域, 由于此位置是距离浇口位置最远, 补缩距离最长的区域, 容易产生补缩不足现象, 进而形成微观缩松, 微观缩松对内轮缘伸长率性能是不利的。

铝合金车轮内轮缘位置是二次枝晶间距相对较小的区域, 是整个车轮伸长率性能相对较好的区域, 但二次间距的均匀性相对较差, 进而使内轮缘伸长率性能的一致性较差。

铸造条件调整往往对微观缩松和二次枝晶间距的影响是相反的, 导致不同产品的调整方案各不相同甚至出现相反的情况, 所以在解决内轮缘伸长率性能偏低的问题时, 要区分出伸长率偏低是由于微观缩松导致的还是由于二次枝晶间距偏大导致的是非常关键的, 只有这样才能找出合理的铸造条件调整方案。

3 生产验证

通过前面的分析可知, 5种铸造条件调整方案中, 降低充型段加压速度是其中的最优方案。为了验证模拟分析研究结果的可靠性, 对此方案进行实际生产验证, 实际铸造条件采用铸造模拟分析时的参数。

在达到连续稳定生产条件后, 首先将充型段加压速度调整到6 mbar/s, 实际铸造毛坯10件, 再将充型段加压速度调整到4 mbar/s, 实际铸造毛坯10件。对这20件毛坯进行标准T6热处理, 再在每只毛坯的内轮缘位置提取标准拉伸试棒样品3根, 检测其伸长率性能进行对比分析。

图7是两种方案内轮缘伸长率对比情况, 其中每个数值点代表一件毛坯3根试棒样品伸长率结果的平均值。可以发现, 充型段加压速度为4 mbar/s的方案的内轮缘伸长率明显优于充型段加压速度为6 mbar/s的方案, 实际结论与模拟结果相吻合。

4 结论

(1) 内轮缘伸长率受此位置的微观缩松情况和二

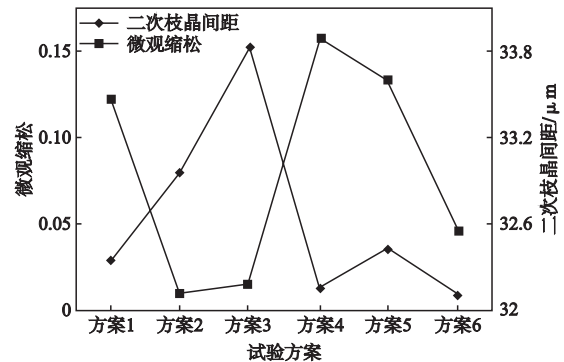


图6 微观缩松和二次枝晶间距的DOE分析
Fig. 6 DOE analysis on micro porosity and SDAS of inner rim under various casting conditions

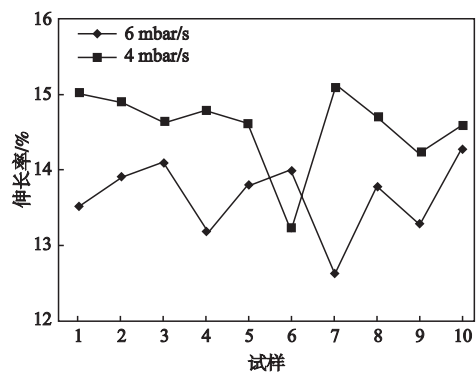


图7 在不同的充型段加压速度下内轮缘伸长率对比
Fig. 7 Comparison of elongation of inner rim under different pressure speeds

次枝晶间距影响较大, 其中微观缩松对内轮缘伸长率性能是不利的, 二次枝晶间距越小伸长率性能越好。

(2) 内轮缘是整个铝合金车轮上比较容易产生微观缩松的区域, 同时也是二次枝晶间距数值相对较小的区域。

(3) 铸造条件调整对内轮缘区域的微观缩松情况和二次枝晶间距影响往往是相反的, 所以在解决内轮缘伸长率偏低的问题时, 要区分是由于微观缩松导致的还是由于二次枝晶间距偏大导致的, 只有这样才能找到有效的调整方案。

参考文献:

- [1] 童胜坤, 尚淑珍, 孙秀云, 等. 低压铸造A356.2铝合金轮毂轮辐的性能 [J]. 特种铸造及有色合金, 2012 (11): 1030-1033.
- [2] 宫林松, 童胜坤, 唐良文, 等. A356.2铝合金轮毂拉伸性能及断口分析 [J]. 汽车工艺与材料, 2012 (10): 42-46.
- [3] 冉广, 周敬恩, 王永芳. 铸造A356铝合金的拉伸性能及其断口分析 [J]. 稀有金属材料与工程, 2006 (10): 1620-1624.

Study on Elongation of Aluminum Alloy Inner Wheel Rim

YE Zhen, ZHU Da-zhi, ZHANG Shao-wen

(Baoding Lizhong Wheel Manufacturing Co., Ltd., Hebei High Strength and Toughness Lightweight Wheel Technology Innovation Center, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract:

The elongation of inner wheel rim is an important index to evaluate the quality of cast aluminum alloy wheel, and it is also a technical difficulty of aluminum alloy wheel casting. The elongation of inner rim is mainly affected by the micro porosity and SDAS at the region. In the study, simulation analysis software was utilized for theoretical research and the analysis of DOE on the micro porosity and SDAS of inner rim under various casting conditions. The results show that the inner rim is an area of whole aluminum alloy wheel where the micro porosity is easy to produce, and is also the area with relatively small SDAS; the influence of casting conditions adjustment on the micro porosity and SDAS in the inner rim region is usually opposite, and effective adjustment measures can be found only by identifying main influence factors affecting the elongation in solving practical problems.

Key words:

aluminum alloy wheel; inner rim; elongation; simulation; micro porosity; SDAS
