

基于 Anycasting 铝合金缸盖 数值模拟及工艺优化

赵葵¹, 韩猛², 刘志红¹

(1.温州瑞明集团, 浙江瑞安 325204; 2.韩国 Anycasting 有限公司上海代表处, 上海 200122)

摘要:针对铝合金缸盖金属型重力倾转铸造工艺, 采用 AnyCasting 铸造模拟软件模拟铸件充型和凝固过程, 分析铸件成形过程中的温度场和流场的变化规律。通过综合考虑铸造工艺参数和模具结构设计对铸件凝固过程的影响, 找出该铸造工艺在生产过程中产生缺陷的位置和原因, 从而对其进行优化, 节省了调整工艺参数时间和试模次数, 大大节约了新产品的开发成本, 为新产品的生产验证提供了理论依据。

关键词: 铝合金缸盖; 金属型重力倾转铸造; 铸造工艺; 优化

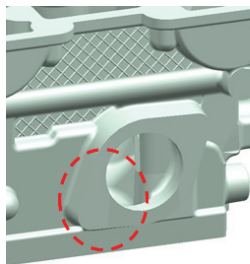
随着轿车铸件的逐步轻量化、精确化、强韧化和复合化。铝合金在轿车和轻型车行业的大量应用成为重要的发展趋势。目前我国轿车和轻型车缸盖也正朝着铝合金方面迅速发展, 但是由于铝合金缸盖结构和工艺复杂, 质量要求非常高, 因而铸造废品率也相对较高, 影响产品的质量和成本^[1]。在发动机缸盖的工艺开发中, 越来越多的厂家采用金属型重力倾转式铸造工艺, 来代替原来的常规金属型重力铸造工艺。重力倾转式铸造工艺采用大面积进铝, 防止局部过热, 结合了传统底注式充型平稳, 顶注式冒口最后凝固、补缩效果好的特点^[2-5]。

传统铸件生产时往往是根据经验确定铸造工艺, 铝合金缸盖结构特殊、工艺复杂、质量要求非常高, 这种方法将明显提高成本, 降低研发效率。铸造工艺计算机模拟可减少或避免因铸造工艺设计不合理而导致铸件产生缺陷的现象, 实现铸造工艺的智能化设计及可视化铸造过程^[6]。

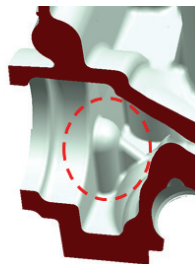
本文通过 Anycasting 模拟软件模拟分析, 在分析铸件产生缺陷原因的前提下, 通过优化生产工艺, 消除缺陷的产生, 实现产品的正常生产。

1 铸件结构及金属型重力倾转铸造的工艺参数

铝合金缸盖外形轮廓尺寸为 436mm×260mm×150mm, 平均壁厚为 5mm, 铸件质量为 15kg。铸件 P4 缸盖端面 M8 螺栓孔是厚大部位, 需要机械加工, 对附近的缩孔缩松要求严格, 相关位置加工后水道试压泄漏。图 1 为 M8 螺栓孔处厚大部位。



(a) 机械加工位置



(b) 内部厚大位置

图 1 M8 螺栓孔处厚大部位

作者简介: 赵葵 (1987-), 男, 大专, 主要从事汽车发动机铝合金气缸盖、缸体的重力和低压模具的铸造工艺及模具结构的设计。E-mail: ljsj888@126.com。

经解剖着色处理发现此 M8 螺栓孔处有缩松，导致产品试压出现泄漏现象。图 2 为 M8 螺栓孔缩松缺陷。

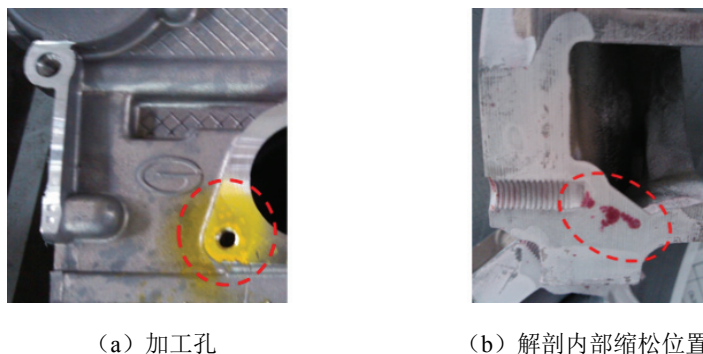


图 2 M8 螺栓孔缩松缺陷

铸件采用的铝合金材料牌号为 AA 标准 A356，浇注温度为 720°C ，倾转角度为 90° ，倾转时间为 18 秒。模具材料采用 AISI 标准的 H13 模具钢，工作温度底模为 250°C 、前后侧模为 280°C 、左右端模为 300°C 、燃烧室为 250°C 。

2 模拟结果

采用 AnyCasting 铸造模拟软件对原生产方案进行充型以及凝固过程数值模拟。初始条件和边界条件的设定：浇注温度为 720°C ，浇注时间约为 18s。型砂采用树脂砂，初始温度为室温 25°C 。铝合金材料 A356 的液相线温度为 616°C ，固相线温度为 556°C 。铸件与铸型间的热交换系数为 $0.06\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，铸件与空气、空气与铸型间的热交换系数为 $0.001\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C})$ [7]。

充型模拟结果显示，铝液通过缸盖罩边位置的内浇口处进入型腔，充型过程平稳且速度均匀，没有明显的卷气与氧化夹渣现象。但是，如图 3a 所示，铸件凝固至 30s 时，螺栓孔位置处上边的补缩通道断开，如图 3b 所示，铸件凝固至 48s 时螺栓孔位置处右边的补缩通道断开，螺栓孔位置出现明显孤立液相区，从而导致铸件缩松而产生泄漏，模拟结果与实际问题一致。

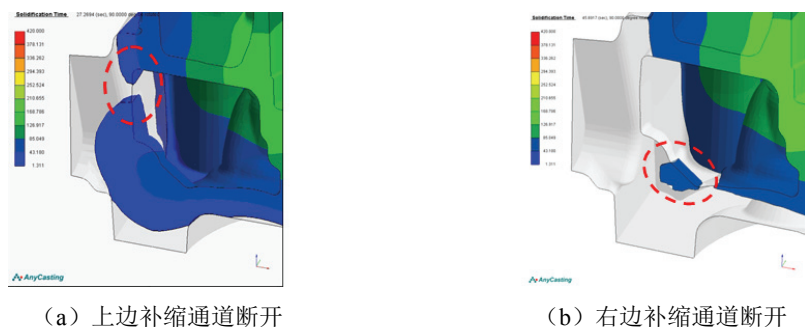
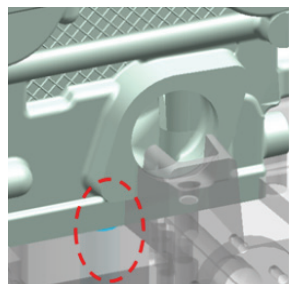


图 3 孤立液相区

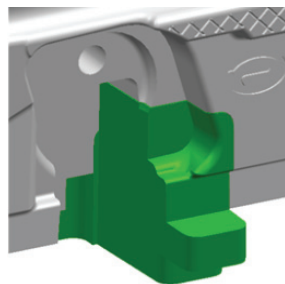
3 初始方案改进

在确定影响铸件生产的主要缺陷为铸造孔内壁缩松后，针对该缺陷的产生原因对模具进行改进。初始铸造方案中螺栓孔位置是铸件的一个热节点，凝固过程中冷却速度较慢，上边和右边的补缩通道都过早凝固，螺栓孔位置处得不到补缩，最终形成孤立液相区，从而形成了缩松缺陷。

因此，在热节附近增加水冷，加快该处冷却速度以减小孤立液相区体积，消除或降低收缩缺陷。改进方案 1 在底模此螺栓孔正下方位置设计点冷装置，加快这个地方的冷却速度，改进方案 2 在模具端模上设置点冷镶块，镶块可对此螺栓孔侧方和下方同时进行冷却。



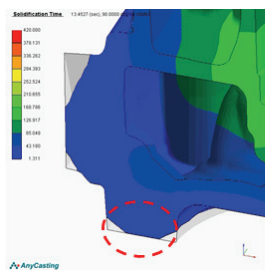
(a) 改进方案 1



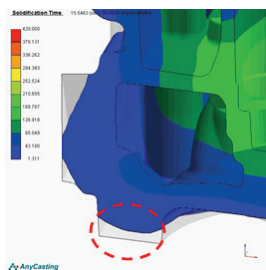
(b) 改进方案 2

图 4 改进方案

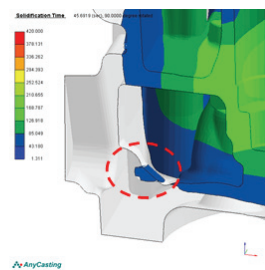
利用 AnyCasting 软件对修改方案分别做了充型凝固过程数值模拟。模拟结果显示, 改进方案 1 在底模此螺栓孔正下方位置设计点冷装置, 可以加快这个地方的冷却速度。如图 5a、图 5b 所示。但是这里的冷却速度要慢于上端的补缩通道, 无法通过自下而上的凝固顺序来进行补缩, 依然存在孤立液相区。但与之相比, 其孤立液体积有所减小。如图 5c 所示。



(a) 原方案



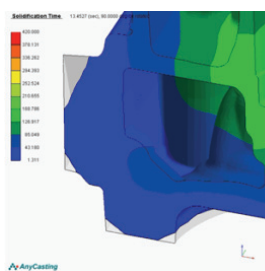
(b) 改进方案 1



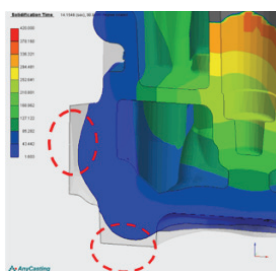
(c) 孤立液相区

图 5 凝固顺序对比

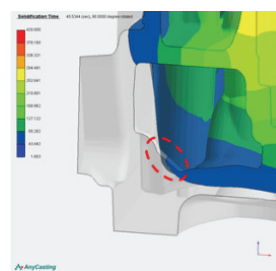
改进方案 2 在模具端模上设置点冷镶块, 镶块对此螺栓孔侧方和下方可以同时进行冷却。但主要还是加快铸件侧方的冷却速度, 目的是使铸件通过自左向右的方式进行凝固。图 6a、图 6b 所示为相同时刻下铸件的凝固顺序, 可以看到铸件的侧方和下方冷却速度加快。如图 6c 所示, 热节处主要由右边的补缩通道进行补缩, 该处凝固过程中有少量的孤立液相区存在。



(a) 原方案



(b) 改进方案 2



(c) 孤立液相区

图 6 凝固顺序对比

4 方案再次改进

针对以上两种改进方案, 可以比较得出改进方案 2 对缩松缺陷有较大改善。因此, 参照改进方案 2 的模拟分析结果, 对其进行再次改进。考虑到 M8 螺栓孔处本身厚大, 仅通过冷却装置很难使缩松缺陷得到完全解决, 故在保留改进方案 2 端模上的点冷镶块装置的同时对 M8 螺栓孔进行预铸, 并保证其加工余量。如图 7 所示。

对方案再次进行充型及凝固模拟分析,模拟结果显示,凝固顺序与改进方案 2 基本相似,铸件靠近侧模及下模部位同时开始冷却,靠近侧模位置冷却速度较快,M8 螺栓孔自左向右进行凝固,由于采用了螺栓孔预铸工艺,减小厚大部位需要冷却的金属液体积,使热节处的金属液得到有效补缩,凝固过程中无孤立的液相区存在。

按照再次改进的方案对模具进行修模和生产验证,铸件缸盖端面 M8 螺栓孔解剖着色发现无缩松。如图 8 所示。

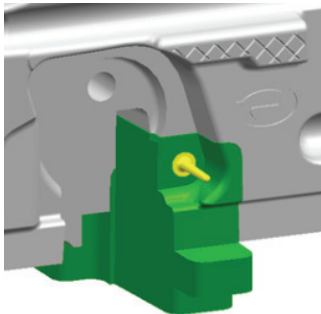


图 7 再次改进方案



图 8 解剖图

5 结语

(1) 针对铝合金厚大部分结构,根据实际情况增加冷却装置,消除热节,对改善铸件的冷却速率,使铸件顺序凝固有明显作用。

(2) 在解决铝合金缩松缺陷时,仅通过增加冷却装置,对一些特殊位置无法完全解决,需要同时改变铸件厚大部分结构来彻底解决铸件的局部缩松。

(3) 对产品原工艺进行模拟,显示缺陷风险区与产品实际缺陷情况基本吻合;模拟软件的应用,对产品在设计、工艺设计和模具设计中具有非常重要的作用。

参考文献:

- [1] 王国祥.铝合金缸盖倾转铸造数值模拟[J].铸造技术,2009,30(9):1229-1231.
- [2] 严青松,余欢,魏伯康等.汽车铝合金缸盖铸件缺陷分析及控制[J].失效分析与预防,2009,4(1):30-34.DOI:10.3969/j.issn.1673-6214.2009.01.006.
- [3] 严青松,余欢,魏伯康等.铝合金汽车缸盖的缩孔缩松缺陷数值模拟分析[J].铸造技术,2008,29(3):355-357.
- [4] 刘永刚,蔚明权.汽车铝合金缸盖铸件缺陷分析及控制[J].铸造工程,2013,37(4):6-10.DOI:10.3969/j.issn.1673-3320.2013.04.002.
- [5] 蔡启舟,骆海贺,魏伯康等.铝合金缸盖铸造缺陷分析及对策[C]//2007 年中国压铸、挤压铸造、半固态加工学术年会.2007:70-72.
- [6] 吴士平,王晔,陈立亮等.汽车铝合金排水管倾转铸造数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2011,31(6):514-516.DOI:10.3870/tzzz.2011.06.007.
- [6] 盛文斌,赵明,李改玲等.Makino 铣床大型床身铸造过程模拟及工艺优化[J].特种铸造及有色金,2014,34(6):583-586.