

# 铁路机车用球墨铸铁轴箱铸造工艺设计

张禹<sup>1</sup>, 于赞<sup>1</sup>, 丁杰<sup>2</sup>, 贾兵<sup>2</sup>, 孙祥广<sup>3</sup>

(1. 江苏理工学院, 江苏常州 213001; 2. 常州华德机械有限公司, 江苏常州 213234;

3. 江苏恒立液压股份有限公司常州铸造分公司, 江苏常州 213164)

**摘要:** 在铁路机车用球墨铸铁轴箱的试生产过程中, 铸造工艺采用封闭-开放式浇注系统, 中间位置进行分型, 在矩形凸台处布置1个内浇道。经X射线检测发现, 铸件矩形凸台处存在缩松缺陷。为了消除此类缺陷, 使用MAGMASoft凝固模拟软件对初始工艺进行了分析, 并对内浇道尺寸进行了改善。试制结果显示, 内浇道模数与凸台比例为0.4时, 会产生缩松; 内浇口模数与凸台比例小于0.4时, 缩松消除; 经X射线检测, 按此工艺生产的铸件组织致密, 能满足技术质量要求。

**关键词:** 轴箱; 铸造工艺; 凝固模拟

铁路机车和车辆的轴箱通过弹簧承受全车重量, 在车辆运行过程中承受各向的冲击载荷, 其铸件的质量直接关系到高铁车辆的运行安全<sup>[1]</sup>。某型号的高铁轴箱的结构如图1所示, 材质为EN-GJS400-18LT (QT400-18AL), 轮廓尺寸为426 mm × 233 mm × 230 mm, 毛坯重41 kg, 铸件主体壁厚14 mm, 最小壁厚12 mm, 最大壁厚48 mm, 铸件平均模数为1.2 cm, 壁厚不均匀。按照EN 12681中的规定, 铸件必须进行X射线探伤检查, 不得有气孔、夹渣和夹砂、疏松等缺陷<sup>[2]</sup>。由此可见, 该轴箱铸件要求高, 工艺复杂。

在试生产过程中, 发现铸件在矩形凸台处存在缩松缺陷, 其部位正好位于内浇道位置。为此, 采用MAGMA软件对原工艺进行模拟分析, 并结合分析结果进行工艺改进, 最终获得合格的铸件。

## 1 试制工艺方案

轴箱的试制工艺如图2所示。铸件从中间位置进行分型, 采用封闭-开放式浇注系统,  $A_{内}:A_{横}:A_{直}=2.3:1:1.6$ , 在矩形凸台处布置1个内浇道, 铸件上型放置3个冒口, 在工件两边放置两块随形冷铁, 冷铁厚度为30 mm。按此工艺生产的铸件进行X射线探伤检测, 发现铸件在矩形凸台处有缺陷。图3所示矩形框为缺陷处射线拍摄布片方式, 图4是探伤影像。经判断, 缺陷为缩松, 不符合铸件的质量要求。

## 2 试制工艺CAE分析

MAGMA铸造工艺模拟软件可显示铸件凝固过程, 且能分析出铸件可能产生缩松缩孔的位置<sup>[3]</sup>。为此, 采用UG进行铸造工艺的三维建模, 然后导入到MAGMA软件进行模拟。试制工艺数值模拟结果见图5。图5a为铸件热节分布图, 显示在铸件矩形凸台和内浇道相接处有热节。图5b为铸件缺陷的预测结果, 圆圈内为缺陷, 铸件的矩形凸台处存在缩松缺陷。

可以看出, 实际生产铸件的缺陷分布形式、位置、大小和数值模拟的结果基本

作者简介:

张禹(1996-), 男, 硕士生, 主要研究方向为铸造工艺数值分析。电话: 18151736715, E-mail: 2948498714@qq.com

中图分类号: TG250.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

03-0307-04

收稿日期:

2018-10-09 收到初稿,

2018-12-25 收到修订稿。

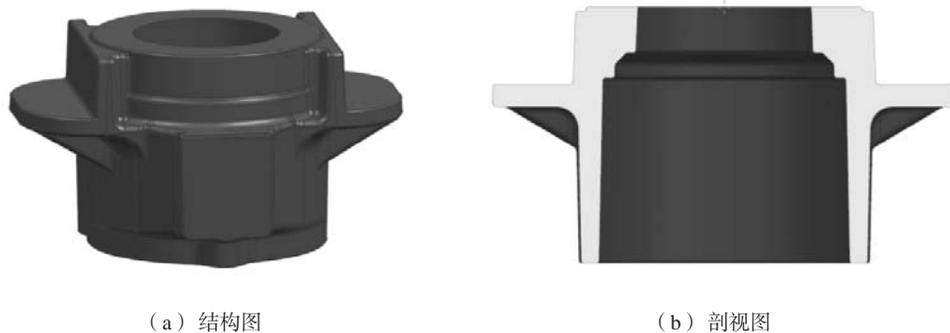
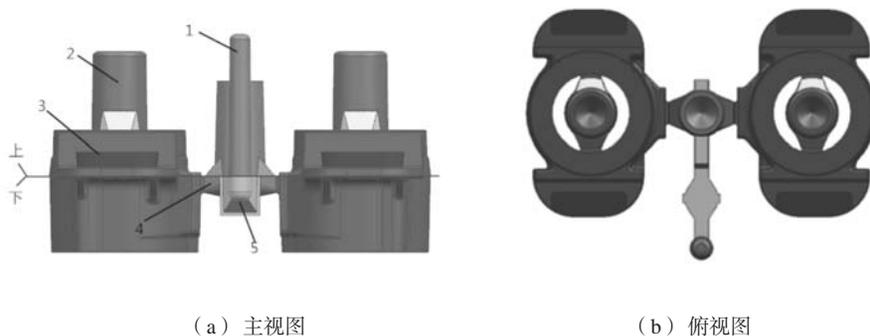


图1 铸件图  
Fig. 1 Casting profile



(a) 主视图  
(b) 俯视图  
1. 直浇道 2. 冒口 3. 冷铁 4. 内浇道 5. 横浇道

图2 试制铸造工艺示意图

Fig. 2 Schematic of the casting process before optimization

一致。任何金属液注入铸型后，从浇注温度冷却到常温都经历三个互相关联的收缩阶段：液态收缩阶段、凝固收缩阶段和固态收缩阶段。液态收缩和凝固收缩是铸件产生缩松和缩孔的基本原因<sup>[4]</sup>。分析可知：在轴箱铸件凝固过程中，当铸件达到糊状凝固状态后，冒口还没有完全凝固，铁液对冒口反补缩，从而导致内浇道端口处形成缩松<sup>[5]</sup>。

### 3 试制工艺优化

通过对缺陷分析可知，要消除出现的缩松缺陷，铸件必须实现均衡凝固，即利用膨胀和收缩动态叠加的自补缩和浇冒口系统的外部补缩，采取工艺措施，使单位时间的收缩和膨胀、收缩与补缩按比例进行<sup>[4]</sup>。因此，我们提出了两种解决方案：增大冒口尺寸和减小内浇道尺寸。

#### 3.1 增大冒口尺寸

冒口的尺寸增大，补缩铁液体积相应增大，所以其凝固时间也延长，这样冒口就会晚于铸件凝固，从而不会出现反补缩的情况<sup>[6]</sup>。考虑到增大冒口尺寸会增加生产成本，出品率低，且模具修改周期时间长，所

以放弃此种方案。

#### 3.2 减小内浇道尺寸

根据生产经验，球铁件适宜用深长的内浇道。将内浇道改小后，内浇道先于冒口凝固，使铁液无法通过内浇道反补缩冒口。再充分利用球铁的自补缩特性，在切断补缩通道后，通过自补缩，最终生成致密的铸件<sup>[7]</sup>。我们设置20 mm × 25 mm、25 mm × 30 mm、35 mm × 40 mm三种尺寸（如果继续减小尺寸，会使补缩不足，铸件会出现缩松缩孔）的内浇道进行对比，并在MAGMA中进行凝固模拟，模拟结果如图6所示。可以看出，工艺改进后原来位置的缩松缺陷已经消除。考虑到实际生产，为了方便后续的内浇道切割以及打磨，最终选择20 mm × 25 mm的内浇道方案。根据经验公式计算，未修改工艺前内浇道模数和凸台模数之比为0.4，通过减小内浇道尺寸进行工艺优化，此时模数的比值也相应减小，经模拟验证原来凸台处的缺陷消除了。

图7为工艺优化后铸件的X射线探伤结果。铸件的缺陷等级满足验收的标准，在批量生产阶段能够稳定获得合格铸件。

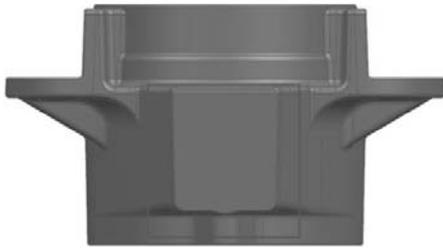


图3 缺陷位置布片图  
Fig. 3 Position of shrinkage defect

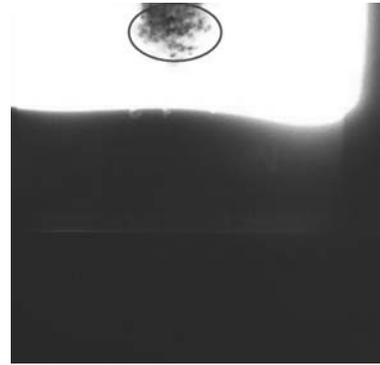
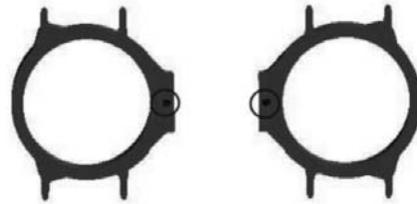


图4 试制工艺铸件X射线探伤图  
Fig. 4 X-ray image of defect position



(a) 热节分布图



(b) 缺陷分布图

图5 铸件试制工艺热节及缩松分布图

Fig. 5 Distributions of hot spot and shrinkage porosity in the casting



(a) 20 mm × 25 mm



(b) 25 mm × 30 mm



(c) 35 mm × 40 mm

图6 模拟缩松分布图

Fig. 6 Simulation results of casting process with different ingate dimensions

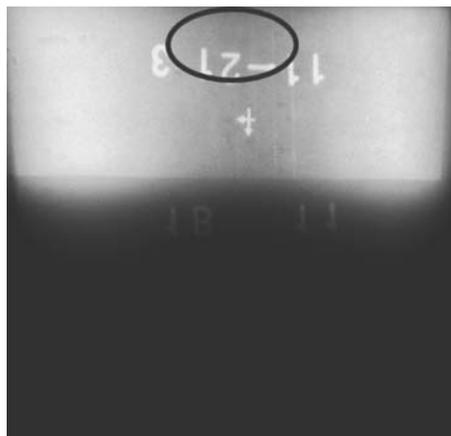


图7 优化工艺铸件X射线探伤图

Fig. 7 X-ray image of defect position after casting process optimization

## 4 结论

(1) 当内浇道模数与凸台模数比例为0.4时, 铸件会产生缩松; 当内浇道模数与凸台比例小于0.4时, 铸件缩松消除。

(2) 使用数值模拟软件分析铸造工艺方案, 并对其进行有效的改进, 缩短了产品生产周期, 节约了生产成本。

### 参考文献:

- [1] 穆松平, 马军贤, 张新宇. 基于CAE的轴箱铸造工艺分析及优化设计 [J]. 铸造技术, 2011 (6): 896-899.
- [2] 张福全, 王杨, 周恬武, 等. 大断面球铁件铸造过程数值模拟及缩孔缩松预测 [J]. 铸造技术, 2013, 34 (8): 1027-1030.
- [3] 张国俊, 孙志平, 邹丽艳. 铸造过程数值模拟的应用与展望 [J]. 热加工工艺, 2010, 39 (21): 61-64.
- [4] 李新亚. 铸造手册: 第5卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [5] 吴星. 铝合金下曲轴箱低压铸造工艺研究 [J]. 热加工工艺, 2017, 46 (7): 120-123.
- [6] 史秋月, 杨伟, 阮甲才, 等. 球铁的孕育处理技术 [J]. 铸造技术, 2011, 32 (2): 270-273.
- [7] 李传瑜, 雷其会, 乜忠利. 曲轴箱的铸造工艺设计 [J]. 中国铸造装备与技术, 2006 (3): 60-61.

---

## Casting Process Design of Spheroidal Graphite Cast Iron Axle Box for Railway Locomotive

ZHANG Yu<sup>1</sup>, YU Yun<sup>1</sup>, DING Jie<sup>2</sup>, JIA Bing<sup>2</sup>, SUN Xiang-guang<sup>3</sup>

(1. Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, Jiangsu, China; 2. Changzhou Huade Machinery Co., Ltd., Changzhou 213234, Jiangsu, China; 3. Jiangsu Hengli Hydraulic Co., Ltd., Changzhou Casting Branch Company, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

### Abstract:

In the trial production process of the axle box made of spheroidal graphite cast iron, the casting process adopted enclosed-open gating system, and the parting line was located in the middle of the casting, with an ingate at the rectangular bulge. It was found by X-Ray deflection that there exist the defects at the rectangular bulge of the castings. In order to eliminate these defects, the casting process was analyzed and simulated using MAGMASoft solidification simulation software. The results showed that when the ratio of the ingate module to the bulge was 0.4, the shrinkage occurred; when the ratio of the ingate module to the bulge was less than 0.4, the dispersed shrinkage was eliminated, and it was verified by X-Ray deflection that the produced castings could meet the quality requirements.

### Key words:

axle box; casting process; solidification simulation