

# ZG270-500 后桥的铸造工艺优化

王伟奇<sup>1</sup>, 严文超<sup>1</sup>, 汪 静<sup>1</sup>, 刘忠国<sup>2</sup>

(1. 湖北三峡职业技术学院, 湖北宜昌 443000; 2. 贵州詹阳动力重工有限公司, 贵州贵阳 550006)

**摘要:** 针对轮式挖掘机后桥铸件合格率不高的问题, 对后桥的原铸造工艺方案进行分析并运用AnyCasting进行数值模拟。分析原工艺的铸造缺陷原因, 对浇注系统、补缩系统进行优化改进, 并对优化设计的铸造工艺方案进行数值模拟验证, 模拟结果表明后桥按工艺设计完成顺序凝固, 原铸造缺陷问题得到解决。经过小批量生产验证, 后桥铸件的合格率有明显提高, 工艺出品率由43.4%提高到64.2%。

**关键词:** ZG270-500; 后桥; 铸造工艺; 数值模拟

## 1 铸件工艺性分析

轮式挖掘机后桥是行走机构的承载及连接装置, 承受不断变化的弯矩和扭矩, 容易出现疲劳断裂问题。后桥质量对轮式挖掘机的行走系统稳定性起重要作用, 需要具有良好的刚性及抗疲劳强度, 在铸件中不能有缩孔、缩松、裂纹等工艺缺陷<sup>[1]</sup>。公司

铸钢分厂原工艺方案采用一箱一件的生产方式, 由于后桥壁厚变化较大且冷却不均匀, 导致后桥存在缩孔、缩松等缺陷。铸件材料为ZG270-500, 最小壁厚为14 mm, 最大壁厚为62 mm, 长度1 540 mm, 质量217 kg; 两端内孔直径100 mm, 中间空腔最大尺寸390 mm。详见后桥铸件图(图1)。

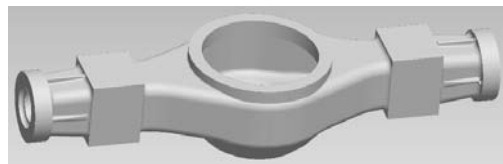


图1 后桥铸件图

Fig. 1 Diagram of rear axle casting

## 2 后桥原铸造工艺分析

### 2.1 原工艺方案

轮式挖掘机后桥的生产量较小, 根据公司铸钢分厂的实际生产情况, 采用呋喃树脂自硬法进行手工制芯及造型。考虑铸件较长且有大的内孔及空腔, 采用组合砂芯进行定位。组合砂芯分为中部壳状砂芯和两侧砂芯, 中部壳状砂芯连接两侧砂芯并用芯撑支撑, 砂芯实物图如图2所示。中部壳状砂芯边缘使用泥绳进行封口, 避免浇注过程中钢液流入芯壳中。砂芯的模样运用多块木料进行胶合制作, 铸件的模样



(a) 中部砂芯

(b) 两侧砂芯

图2 砂芯实物图

Fig. 2 Diagram of physical sand core

作者简介:

王伟奇(1987-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为现代制造工艺及装备。电话: 13872695027, E-mail: 605366180@qq.com

中图分类号: TG26  
文献标识码: A  
文章编号: 1001-4977(2023)11-1486-07

基金项目:

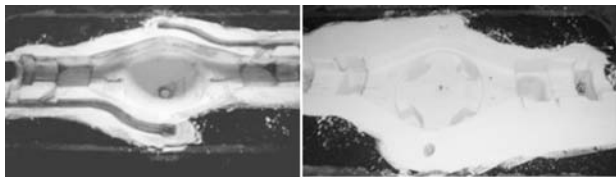
湖北省教育科学规划课题(2021GB159); 湖北三峡职业技术学院科研项目(2022ZK03)。

收稿日期:

2023-03-28 收到初稿,  
2023-04-20 收到修订稿。

采用金属模。

根据铸造工艺设计原则,分型面设计在后桥的最大截面上<sup>[2]</sup>;后桥铸件的重要加工面是中间圆弧空腔位置的凸台面,防止凸台面出现气孔、夹渣等铸造缺陷。在铸件的中间空腔与两侧长孔连接位置的矩形凸台厚度变化较大,存在一个厚度过渡圆角,在此处安放冷铁加速凝固。对砂芯和型腔的表面刷2至3遍的醇基涂料,进行点火烘干。完成了涂料工艺的砂箱如图3所示。



(a) 上型 (b) 下型

图3 砂型  
Fig. 3 Sand mold

根据后桥形状,铸钢分厂按照经验设计了半封闭式浇注系统,兼顾了封闭式浇注系统和开放式浇注系统的优点,不仅能够平稳的充型,还有利于挡渣<sup>[3]</sup>。浇注系统直浇道采用圆柱形陶瓷管,浇道截面积5 500 mm<sup>2</sup>;横浇道采用梯形陶瓷管,浇道截面积3 510 mm<sup>2</sup>;内浇道采用梯形陶瓷管,浇道截面积3 927 mm<sup>2</sup>。后桥铸件的中部凸台、矩形凸台及两端厚度不均匀,存在多处热节,铸造过程中可能出现缺陷;在两端位置放置尺寸较大的明冒口、中间位置设置6个暗冒口进行补缩;使用冷铁和补贴,延长冒口的补缩距离。原铸造工艺图如图4所示。铸件的工艺出品率: $\eta_1 = \text{铸件重量} / (\text{铸件重量} + \text{浇冒口重量}) = 217/500 \times 100\% = 43.4\%$ 。

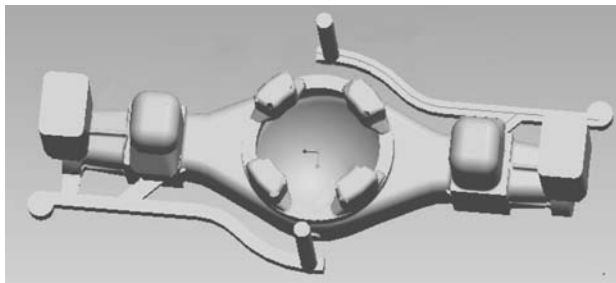


图4 原铸造工艺图  
Fig. 4 Diagram of original casting process

## 2.2 原工艺方案模拟分析

运用AnyCasting进行数值模拟,设置材料为ZG270-500,浇注温度1 580 ℃,浇注时间33 s,砂型温度25 ℃,砂芯温度25 ℃。

### 2.2.1 铸件的充型过程分析

原工艺方案充型8 s时状态如图5所示,钢液从两侧流入到后桥中间圆弧部位;原工艺方案料液追踪8 s时状态如图6所示,两侧的钢液在中部圆弧位置发生碰撞并产生碰撞的跃起现象;原工艺方案充型速度8 s时状态如图7所示,钢液在后桥中间圆弧中部位置的流动速度低,四周流动速度高,流动速度不均匀,可能出现漩涡环流。

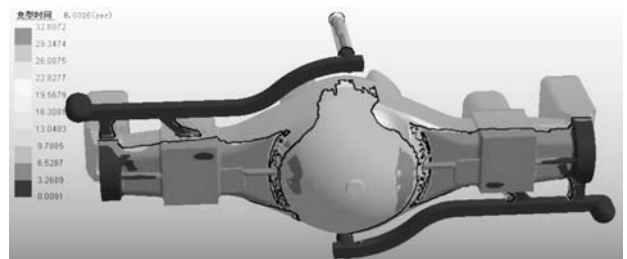


图5 原工艺方案充型8 s时状态  
Fig. 5 Original process scheme state of mold filling 8 s

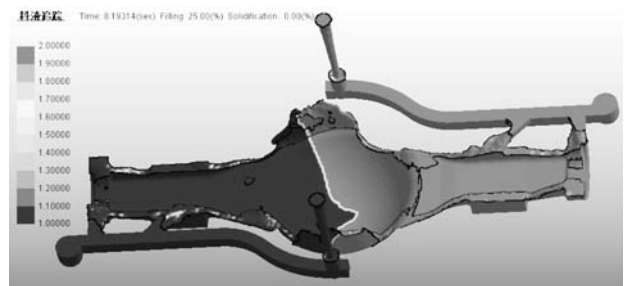


图6 原工艺方案料液追踪8 s时状态  
Fig. 6 Original process scheme state of material liquid tracking within 8 s

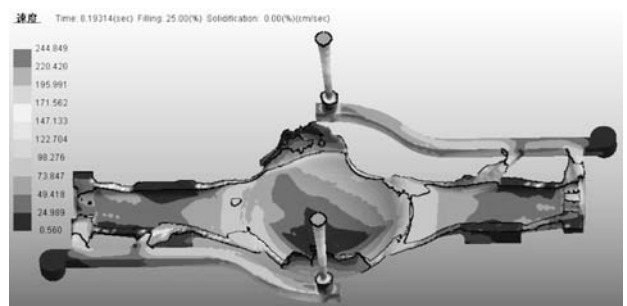
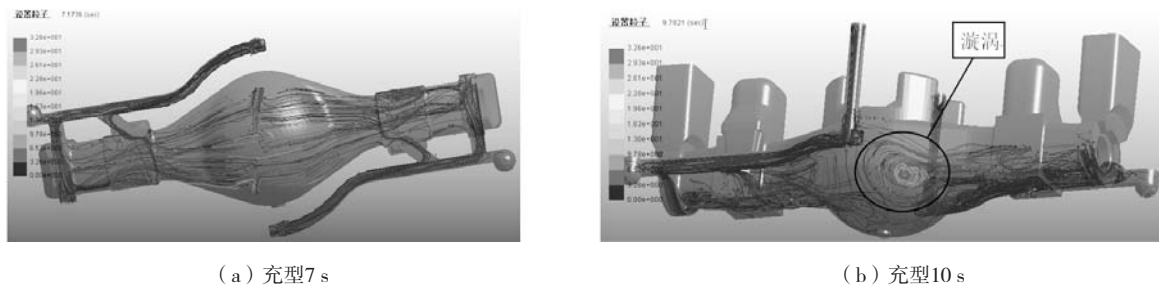


图7 原工艺方案充型速度8 s时状态  
Fig. 7 Original process scheme state of filling velocity within 8 s

从图8铸件的原工艺方案粒子追踪图分析得到,浇注至7 s时,料液在中部圆弧位置出现较强紊流现象;浇注至10 s时,钢液在后桥中部圆弧位置出现漩涡,漩涡持续6 s,阻碍铸件的排气和夹渣上升过程;充型后期过程处于平稳状态。图9是原工艺方案卷气图,在后桥的冒口、浇注系统及铸件内部都出现了卷气的情况。



(a) 充型7s (b) 充型10s

图8 原工艺方案粒子追踪

Fig.8 Particles tracking of original process scheme

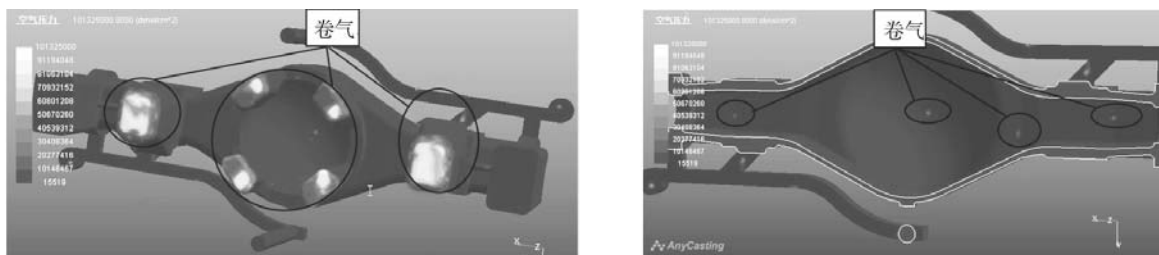


图9 原工艺方案卷气图

Fig. 9 Air entrapment of original process scheme

### 2.2.2 铸件凝固过程分析

在AnyCasting中分析得到图10原工艺方案砂型温度分布图、图11原工艺方案缩松分布图、图12原工艺方案缩孔分布图。

从图10原工艺方案砂型温度分布图分析得到铸件两侧暗冒口位置温度过高，使得最后凝固区域由冒口位置向过热区域移动，导致工件位置出现缩孔缺陷。从图11原工艺方案缩松分布图和图12原工艺方案缩孔分布图观察分析得到铸件在两端、中间圆弧空腔及圆

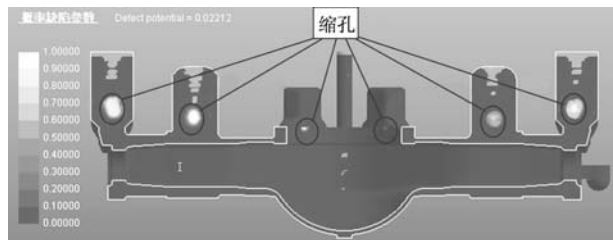


图12 原工艺方案缩孔分布图

Fig. 12 Shrinkage distribution of original process scheme

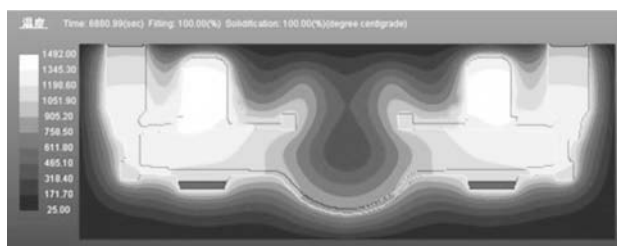


图10 原工艺方案砂型温度分布图

Fig. 10 Sand mold temperature of original process scheme

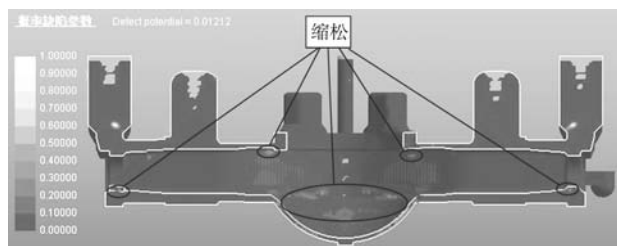


图11 原工艺方案缩松分布图

Fig. 11 Shrinkage porosity distribution of original process scheme

弧空腔台面位置出现了缩松缺陷，在冒口、圆弧空腔台面处出现了缩孔缺陷。这些缺陷对铸件的质量有较大影响。

后桥铸件按照原铸造工艺方案生产，在铸件两端部及暗冒口位置有缩孔、气孔、粘砂等缺陷，如图13原工艺方案铸件缺陷图所示。图13a、b缺陷与仿真模拟缺陷基本吻合，在铸件凝固过程中，铸件和冒口交接处的温度接近冒口中心温度，使得最后凝固区域下移，导致铸件补缩不够充分，形成缩孔缺陷；图13c缺陷为独立椭圆形气孔缺陷，出现在铸件上部，结合其他铸件情况，初步推断为钢液的紊流和卷气导致。

## 3 铸造工艺优化

### 3.1 浇注系统优化

针对原铸造工艺中钢液出现紊流及漩涡问题，需要对浇注系统进行优化设计。根据铸造车间生产现状，采用漏底包浇注方式和开放式浇注系统；以漏底包的控制塞杆控制包孔面积，进而控制钢液浇注速

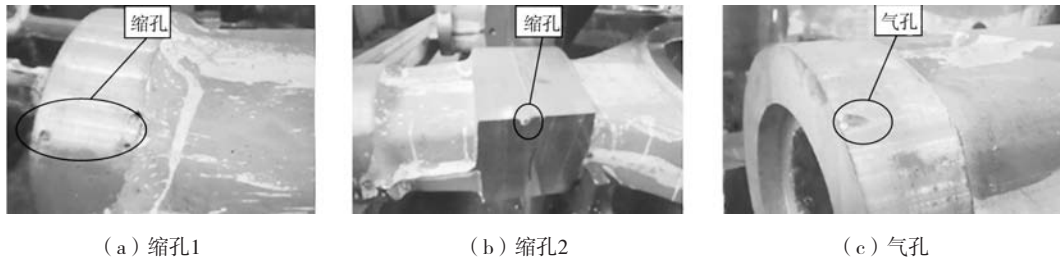


图13 原工艺方案铸件缺陷图

Fig. 13 Casting defects of original process scheme

度<sup>[4]</sup>。为避免卷气及漩涡,采用底注式浇注系统;运用锥形直浇道浇注,保证钢液浇注过程中的速度和压力,防止侵入性气孔缺陷的发生,有助于有效充型<sup>[5]</sup>。为保证多个热节位置的质量,在中间圆弧位置、两端位置及矩形凸台位置均设置内浇道,使得厚大热节位置能够得到充分补缩,保证铸件的平稳充型。经计算确定,直浇道总截面积707 mm<sup>2</sup>、横浇道总截面积1 414 mm<sup>2</sup>、内浇道总截面积3 534 mm<sup>2</sup>;漏底包包孔截面积为706 mm<sup>2</sup>,钢液在铸型中的最小上升速度取16 mm/s,浇注速度10 kg/s,确定出浇注时间为36 s。详见优化后的浇注系统(图14)。

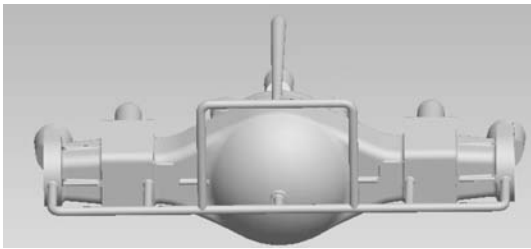


图14 优化后浇注系统

Fig. 14 The optimized gating system

### 3.2 冒口改进设计

原铸造工艺方案中的冒口过大,导致后桥铸件的出品率较低,改进使用保温冒口以提高工艺出品率。后桥铸件两端位置砂芯直径为100 mm,壁厚20 mm,计算得到需要冒口补缩的总距离为358 mm;后桥铸件两端分别设置1个FT300-S120系列的缩颈保温冒口和厚度为35 mm的补贴,冒口容积为1 380 cm<sup>3</sup>,补缩体积为621 cm<sup>3</sup>。后桥铸件矩形凸台位置分别设置2个FT100-A90系列冒口和厚度为30 mm的补贴,冒口容积为581 cm<sup>3</sup>。后桥铸件中间圆弧位置的台面上设置6个FT300-S100系列的缩颈保温冒口,冒口容积为930 cm<sup>3</sup>。改进后的后桥铸件的工艺出品率为铸件重量/(铸件重量+浇冒口重量)=217/338×100%=64.2%。详见冒口-补贴示意图15。

### 3.3 冷铁工艺改进

在两端及矩形凸台的热节位置设置冷铁,加快壁厚较大位置的冷却速度,延长补缩距离;减少与壁厚位置的冷却时间差,避免出现冷却速度不均可能引起的裂纹等缺陷。冷铁宽度为50 mm,长度为100 mm,冷铁工艺如图16所示。

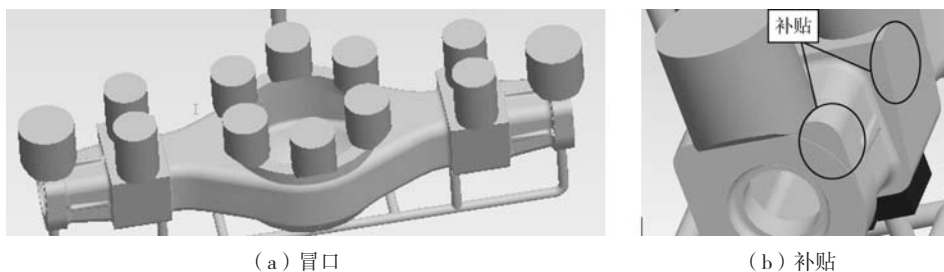


图15 冒口-补贴示意图

Fig. 15 Schematic diagram of riser-padding

### 3.4 其他工艺改进

实际生产中,矩形凸台位置出现个别粘砂缺陷,铸型上已经涂刷了两遍的醇基涂料,能够有效防止铸型开裂及过热溃散。考虑涂刷工艺问题,人工涂刷存在涂刷不均匀的问题,改用流涂设备进行涂刷,保证涂料的均匀性及涂料厚度控制,保证涂料质量的稳定性<sup>[6]</sup>。

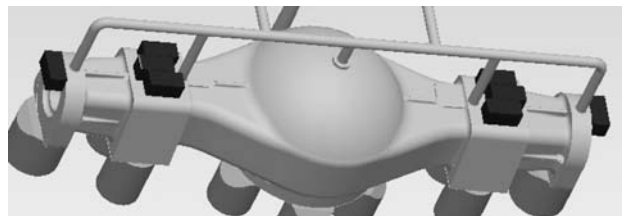


图16 冷铁工艺

Fig. 16 Chill block process

后桥铸件结构较复杂，带来残余应力较大的问题，需要对铸件进行退火处理减少应力，退火装炉温度为400~500℃，保温温度为600~650℃，并保温2h。

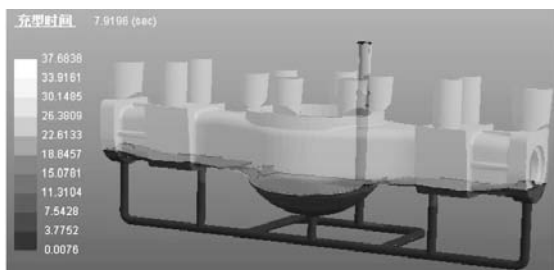
## 4 优化后铸造工艺验证

### 4.1 铸件充型过程分析

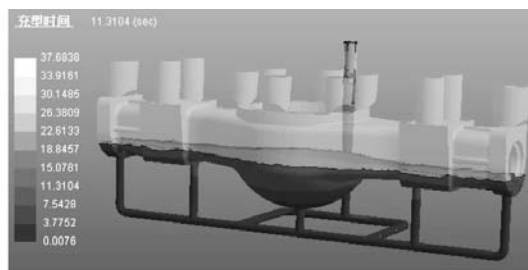
铸件的充型过程如图17所示。浇注系统改为底注式，浇注至8s时，中间圆弧位置已经基本充满钢液，避免了两端流入钢液的紊流现象，提高了充型的平稳

性；浇注至11s时，充型过程平稳。图18为9s时的充型速度图，分析得到直浇道和横浇道中钢液的流速较高，铸型中的钢液在同水平面速度相近且平稳，液面平稳上升。

图19是铸件充型7s和20s时的粒子追踪图，中间圆弧区域的钢液由其底部的浇道流入，在7s左右与两端的钢液交汇，整体平稳，无冲击紊流现象；在20s时，钢液粒子流稳定，未出现紊流及漩涡现象，有利于整体排气及钢液熔渣的上浮。



(a) 8 s



(b) 11 s

图17 充型示意图

Fig. 17 The diagram of mold filling

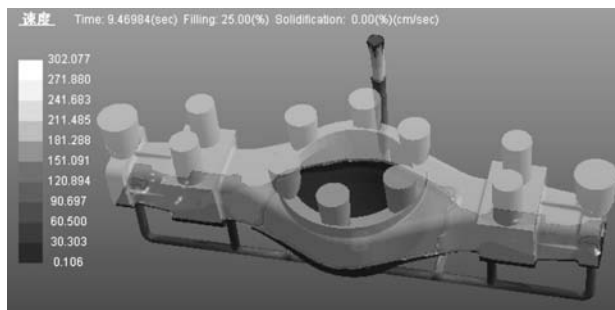


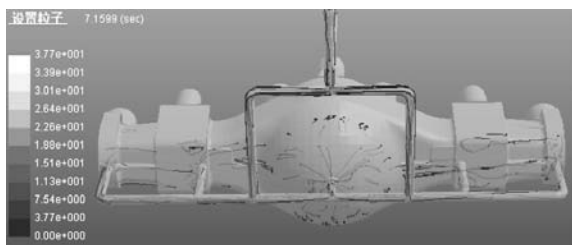
图18 充型9s时的速度示意图

Fig. 18 Schematic diagram of filling velocity at 9 s

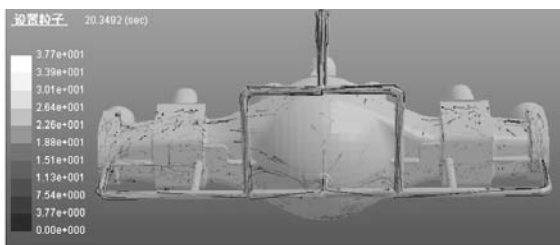
从图20卷气图分析得到，在冒口位置出现卷气现象，在其他位置未出现卷气现象。图21为冷铁激冷效果图，分析得到冷铁位置温度约为1400℃，较铸件其他位置温度低，起到促进顺序凝固作用。

### 4.2 铸件凝固过程分析

采用AnyCasting软件凝固模拟得到图22砂型温度分布图、图23缩松分布图、图24缩孔分布图。从图22凝固过程温度分布图分析得到，后桥铸件从底部向上顺序凝固，中间圆弧、两端、矩形凸台几处热节位置的



(a) 7 s



(b) 20 s

图19 粒子追踪图

Fig. 19 Particles tracking

冒口最后凝固，冒口能够对热节位置进行充分补缩，避免热节位置出现缩孔、缩松等缺陷。对图23缩松分布图和图24缩孔分布图进行分析，后桥铸件未发生明

显缩松及缩松缺陷；后桥铸件的冒口及浇道位置出现部分的缩孔缺陷，但不影响后桥质量。

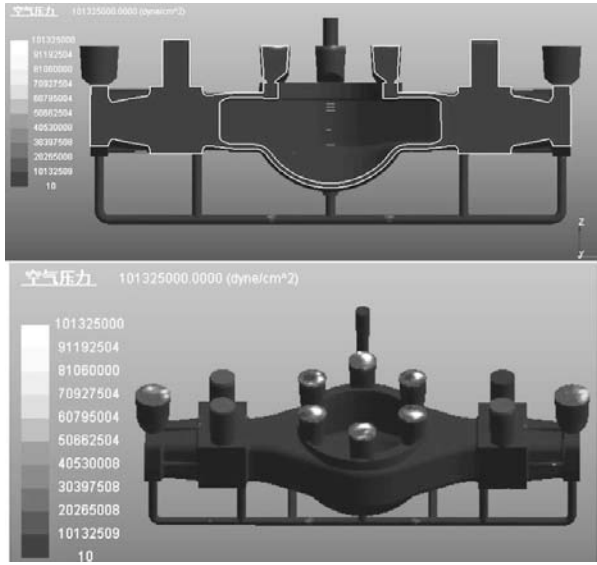


图20 卷气图  
Fig. 20 Diagram of entrained air

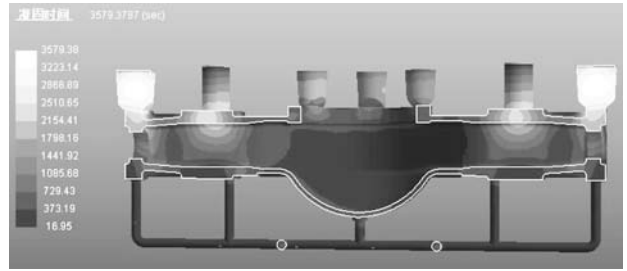


图22 凝固过程温度分布图  
Fig. 22 Temperature distribution of solidification process

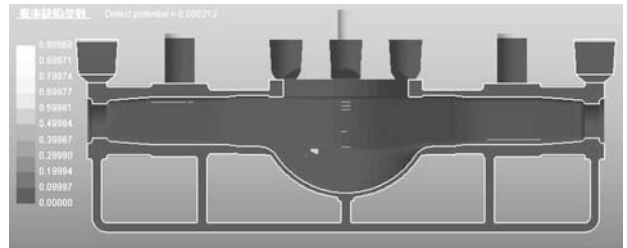


图23 缩松分布图  
Fig. 23 Shrinkage porosity distribution

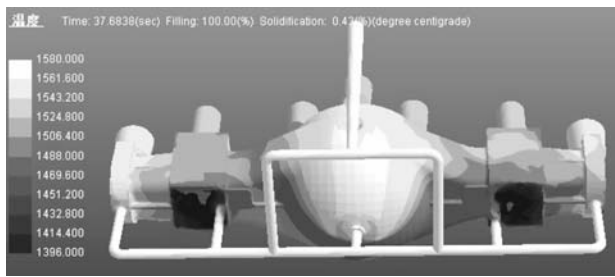


图21 冷铁激冷效果图  
Fig. 21 Chill effect diagram of the chills

### 4.3 生产验证

商户对轮式挖掘机后桥铸件需求为10件/月，企业每月小批量生产后桥铸件15件。铸件质量主要通过加工车间进行加工生产验证。原铸造工艺方案进行6个月生产统计，合格率约73.3%；优化后铸造工艺进行了6个月生产验证，生产铸件90件，实际加工使用65件（图25），加工过程中有5件出现缩孔、缩松等质量缺陷，合格率约92.3%，产品合格率明显提高。

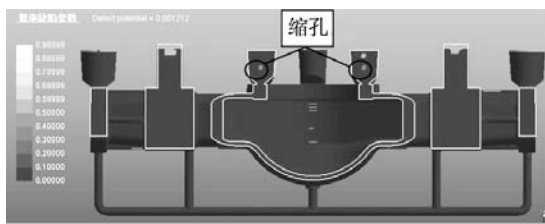


图24 缩孔分布图  
Fig. 24 Shrinkage cavity distribution

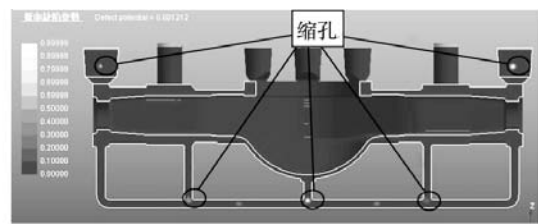


图25 后桥铸件图  
Fig. 25 Diagram of rear axle casting

## 5 结束语

针对原后桥铸造工艺方案中的铸造缺陷进行优化改进，并进行数值模拟仿真分析和生产验证；通过对原生产工艺方案进行优化改进，使后桥铸件中的缩孔缩松等缺陷问题得到解决，工艺出品率由43.4%提高到64.2%，合格率由73.3%提高到92.3%，为同类型的铸件工艺设计提供借鉴。

**参考文献:**

- [1] 于宁波, 王伟奇, 刘忠国. ZG270-500大臂架铸造工艺优化 [J]. 铸造, 2019, 68 (5): 495-500.
- [2] 张江城, 王伟奇, 严文超, 等. 复杂球墨铸铁底座的铸造工艺设计 [J]. 热加工工艺, 2016 (19): 90-93.
- [3] 李泽华, 冯志军, 李宇飞, 等. 高性能复杂柴油发动机缸盖铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2022, 71 (10): 1299-1304.
- [4] 吴彦文, 申荣华, 王伟奇, 等. 铸铁件短流程熔炼应用中的问题及对策 [J]. 铸造技术, 2012, 33 (5): 613-614.
- [5] 张彬, 刘仲礼, 张吉雁. 卧式多级泵铸钢泵壳的铸造工艺研究及实践 [J]. 铸造, 2021, 70 (10): 1169-1173.
- [6] 王晓花, 厉英. 钢锭凝固过程温度场数值模拟 [J]. 铸造, 2013, 62 (5): 410-419.

---

## Casting Process Optimization of ZG270-500 Rear Axle

WANG Wei-qi<sup>1</sup>, YAN Wen-chao<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, LIU Zhong-guo<sup>2</sup>

(1. Hubei Three Gorges Polytechnic, Yichang 443000, Hubei, China; 2. Guizhou Jonyang Kinetics Co., Ltd., Guiyang 550006, Guizhou, China)

**Abstract:**

Aiming at the problem of low qualified rate of rear axle castings of wheeled excavator, the original casting process scheme of rear axle is analyzed and numerical simulation is made by using of AnyCasting in this research. In addition, the causes of casting defects in the original process are analyzed, and the gating system, riser and chill design are optimized and improved. Then, the optimized casting process scheme is verified by using numerical simulation. The simulation results show that the rear axle is solidified in sequence according to the process design, and the original casting defects are solved. After small batch production verification, the qualified rate of rear axle castings has been significantly improved, and the process yield has increased from 43.4% to 64.2%.

**Key words:**

ZG270-500; rear axle; casting process; numerical simulation

---