DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.11.009

华铸 CAE 数值模拟在行走轮产品开发中的应用

汪大新,孙成涛,周绍雷
(安徽合力股份有限公司 合肥铸锻厂,安徽 合肥 230601)

摘　要:采用三维绘图软件绘制了行走轮产品的实体模型,设计和制定了其浇注系统及工艺参数。运用华铸 CAE 数值模拟软件对铸件及其浇注系统进行网格剖分,模拟铸件的充型和凝固过程,分析缩孔、缩松产生的位置与原因。结果表明,根据模拟结果,优化了浇注系统,合理改进了铸造工艺,并严格控制操作过程,缩短产品的开发周期。

关键词:行走轮;数值模拟;铸造工艺

中图分类号:TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)11-1042-04

Application of Huazhu CAE Numerical Simulation in the Development of Walking Wheel Products

WANG Daxin, SUN Chengtao, ZHOU Shaolei
(Hefei Casting and Forging Factory of Anhui Heli Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: The 3D drawing software was used to draw the solid model of the walking wheel product, and the pouring system and process parameters were designed and formulated. The CAE numerical simulation software of Huazhu was used to mesh the casting and its pouring system, simulate the filling and solidification process of the casting, and analyze the location and cause of shrinkage cavity and porosity. The results show that according to the simulation results, the casting system is optimized, the casting process is improved reasonably, and the operation process is strictly controlled to shorten the product development cycle.

Key words: walking wheel; numerical simulation; casting process

数值模拟可以指导铸造工艺设计,缩短设计周期,减少因铸造工艺设计不合理造成的铸件缩孔、缩松等缺陷。本文利用华铸 CAE 数值模拟软件,对德马格起重机行走轮产品进行充型和凝固过程模拟分析,并验证工艺方案的可行性。

1　产品概述

起重机行走轮的质量必须得到保证。图 1 所示行走轮的轮廓尺寸为 ϕ680 mm×H160 mm,轮辐厚 34 mm,QT700-4,单重为 197.5 kg。行走面、轮辐和轮心厚薄不均,根据做类似产品经验,热节处极易形成缩孔缩松缺陷。对于各类缺陷,客户要求 X 射线探伤要求行走面达到 1 级,其余部位 2 级以上。性能要求上,铸件本体抗拉强度须大于 700 MPa,伸长率须达到 4%(轮缘和轮辐 3 等分取 3 组试棒均需达到),硬度须在 HB235-285。铸件的外观和断面结构见图 1,图 2。

图 1 行走轮整体结构
Fig.1 Overall structure of walking wheel

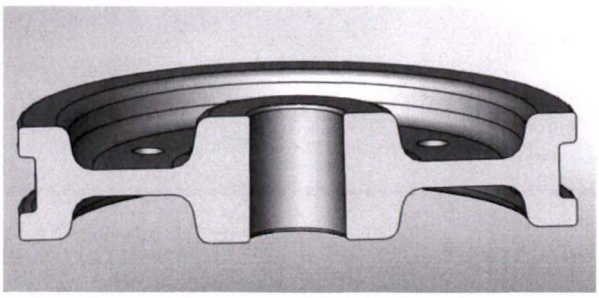

图 2 行走轮断面结构
Fig.2 Cross section structure of walking wheel

2　铸造工艺方案设计及优化

运用华铸 CAE 对铸件进行前置处理、计算分析和后置处理。前置处理主要是进行三维实体的网格

收稿日期:2020-08-11

作者简介:汪大新(1975-),安徽肥东人,硕士,高级工程师.主要从事铸铁件生产的生产技术方面的工作.
电话:13966662463,E-mail:873552092@qq.com

剖分和物性参数的设定；计算分析中常用到纯凝固计算和耦合的凝固计算。纯凝固计算只考虑凝固过程，未考虑充型的影响，基于“瞬间充型，初温均布假设”，计算分析较快，计算结果和实际偏差较大。耦合的凝固计算（简称耦凝）考虑了流动、传热对凝固的影响，计算的初始条件是充型耦合计算的最后温度场，计算时间较长，但计算精度高。计算完成后可在后置处理中查看计算的结果，定量缩孔是通过凝固计算显现铸件不同位置的缩孔、缩松情况。凝固液相是通过凝固计算显现凝固过程的液相分布。

2.1　工艺分析

根据做类似产品的经验，轮缘和轮辐交接处以及轮辐和轮心交接处易形成缩孔缩松缺陷。综合考虑行走轮的结构特点以及产品的需求量，采用树脂砂铸造。根据浇注系统设计原则，首先确定分型面在轮缘、轮辐和轮心的中部，铸件一半在上箱，一半在下箱，方便设置冒口补缩。工艺分析后，对该铸件采用两种不同形式浇注系统思路进行模拟，第一种方案是从轮缘处进铁液，即铁液由浇道流入冒口，再由冒口颈将铁液引入到轮缘型腔，如图 3。第二种方案是从轮心处进铁液，即铁液由浇道流入冒口，再由冒口颈将铁液引入到轮心型腔，如图 4。

图 3　轮缘处进铁液方案
Fig.3　Molten iron feeding scheme at the rim

图 4　轮心处进铁液方案
Fig.4　Molten iron feeding scheme at the center of the wheel

2.2　华铸 CAE 模拟分析及优化

为方便分析比较，在华铸 CAE 前置处理中，对行走轮三维实体都进行 5 mm 的网格剖分，且物性参数设置相同，浇注温度设定为 1 370 ℃。对两种进铁液方案，分别进行模拟分析。后置处理时，缩孔缩松的体积在仅限于铸件时的情况下，可方便比较铸件内部缺陷的大小。

2.2.1　轮缘进铁液方案

模拟结果显示：缩孔总体积为 5.25 cm^3，缩松总体积为 5.38 cm^3，缩孔缩松集中在轮心处（热节），和预想的一致，如图 5。观察铸件的凝固液相，铸件在凝固过程中，轮辐处先断开，最终在轮缘和轮心处形成孤立液相区，如图 6。轮缘处有冒口补缩，没有缩孔缩松缺陷，轮心处由于没有外部补缩源，最后凝固得不到补缩，形成缩孔缩松缺陷。

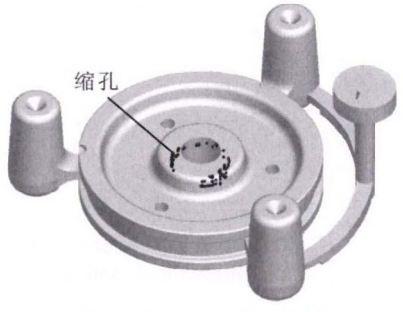

图 5　缩孔缩松分布情况
Fig.5　Distribution of shrinkage cavity and porosity

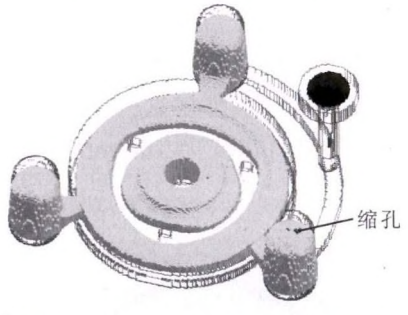

图 6　t=1 219 s 时凝固液相模拟结果
Fig.6　Simulation results of solidification liquid phase when t =1 219 s

2.2.2　轮心进铁液方案

轮心处进铁液方案的模拟结果显示：缩孔总体积为 9.63 cm^3，缩松总体积为 4 cm^3，缩孔缩松集中在轮缘和轮辐的交接处，如图 7，观察铸件的凝固液相，同样轮辐处先断开，如图 8。轮心处有冒口补缩，没有缩孔缩松缺陷，轮缘处由于没有冒口补缩，形成缩孔缩松缺陷。

2.2.3　模拟结果分析和轮心处进铁液优化方案

从上述两种进铁液方案中可以看出，无论是从轮缘处进铁液还是从轮心处进铁液，凝固过程中，轮辐都将先凝固，轮缘和轮心处均需设置冒口进行补缩，或者在轮缘、轮辐以及轮心部位采取一定措施，消除局部热节。

考虑到轮缘位置为行走面，该部位要求最高，为

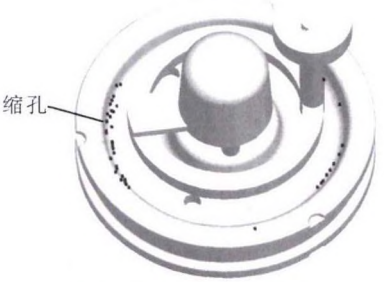

图 7 缩孔缩松分布情况
Fig.7 Distribution of shrinkage cavity and porosity

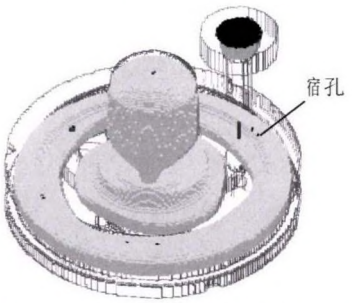

图 8 t=1 198 s 时凝固液相模拟结果
Fig.8 Solidification liquid phase simulation results at t=1 198 s

消除浇注系统对轮缘位置的影响，保证轮缘性能的一致性，3 组试棒中，轮缘处性能必须达到抗拉强度 700 MPa，伸长率为 4%，决定采用从轮心处进铁液方案。从初步方案模拟结果中可以看出，轮辐处先凝固，尝试在轮辐上（上外模这一侧）加 3 处补缩通道，初定补缩通道的宽度为 100 mm，高 15 mm，效果如图 9。

图 9 轮辐补缩通道位置
Fig.9 Location of spoke filling channel

经过凝固模拟分析，该工艺方案实现了顺序凝固。模拟结果显示：缩孔总体积为 0，缩松总体积为 0.13 cm^3，如图 10。观察铸件的凝固液相，铸件在凝固过程中，没有形成孤立液相区，铸件得到了很好的补缩，如图 11。

图 10 模拟结果（基本上无缺陷）
Fig.10 Simulation results (basically without defects)

通过比较，优化过后的轮心进铁液方案 CAE 模拟效果最好。而且铁液在充型过程中平稳，无紊流现象，如图（12~14），通过和客户联系，产品的局部结构更改也得到了客户的认可，从轮心处进铁液，不但保证了轮缘性能的一致性，而且也提高的产品的出品率。

最后，经过评审，该方案现实操作可行。将该产品合理地布置在 1 230 mm×860 mm的型板尺寸范围内，模具制作完成后，上、下型板布置见图 15。

3 生产过程控制要点

（1）在浇注系统中引入泡沫陶瓷过滤网，采取开放式浇注系统，热冒口进注铁液，有效地清除了铁液中杂质，同时实现铁液均质化，改善了铸件凝固补缩效果和铸件组织性能。

（2）化学成分：C：3.65%~3.75%，Si：2.0%~2.2%，Mn：0.4%~0.6%，P≤0.06%，S≤0.02%，Mg：0.04%~0.06%，Re：0.02%~0.04%，Cu：0.4%~0.6%。

（3）熔炼：严格控制含碳量，其他成分达到要求后方能出铁。铁液应过热到 1 500～1 520 ℃，过热时间控制在 5~10 min，球化处理温度为 1 450～

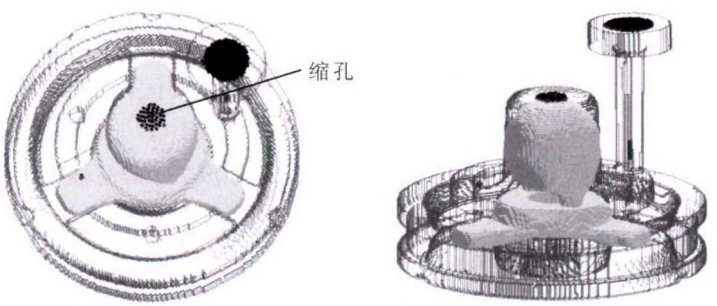

图 11 t=1 434 s 是凝固液相模拟结果
Fig.11 Simulation results of solidification liquid phase when t =1 434 s

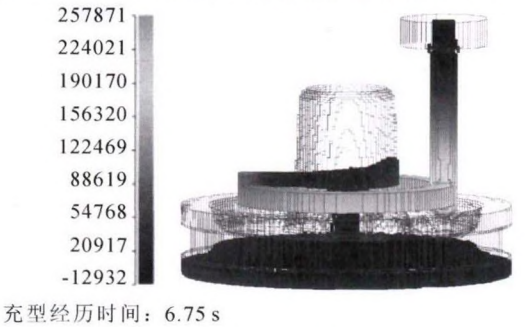

图 12 充型 7 s 时液面
Fig.12 Liquid level at 7 s filling

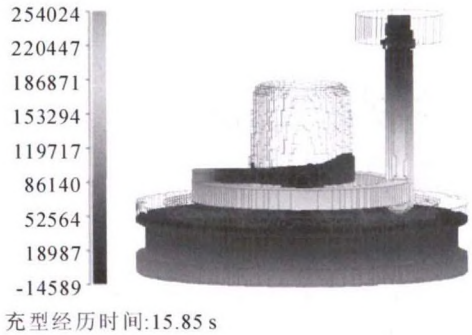

图 13 充型 16 s 时液面
Fig.13 Liquid level at 16 s filling

图 14 铁液充型过程中速度分布
Fig.14 Velocity distribution in molten iron filling process

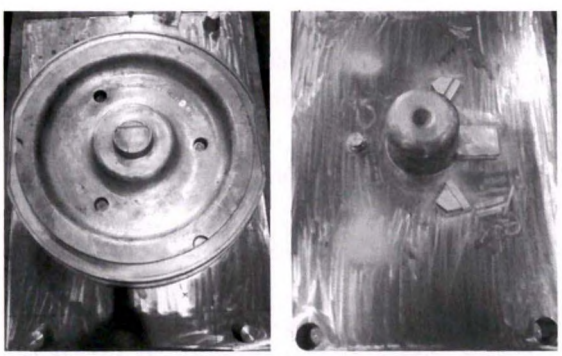

图 15 模样型版布置
Fig.15 Layout of pattern plate

1 460 ℃。球化剂使用纯镧系 1~5 球化剂，采用盖包球化处理，球化剂加入量 1.4%。用硅钡钙长效孕育剂（15～25 mm）和 75 硅铁作覆盖剂覆盖在球化剂上。

（4）一次孕育（炉内孕育）：使用石墨型增碳剂进行炉内孕育，加入量为 0.1%，加入时间为预热铁液包铁液倒入炉内时随流加入；二次孕育（50%硅铁+50%硅钡钙孕育剂）：出铁液前，根据原铁液含硅量（≤1.2%）、球化剂带入的硅量以及处理后铁液要求的含硅量，计算出总的孕育硅量和相应的总孕育剂量；随流孕育（0.1%含锑孕育剂）：操作时注意要均匀缓慢地加到铁液流上，要做到浇注过程中都有随流孕育剂在起作用。

（5）浇注温度：1 360～1 380 ℃，浇注要快，不要出现断流。

4 生产验证

模具做好后，试制生产过程顺利，制芯和造型过程均没有问题。打制出的砂芯如图 16，造型下芯后如图 17。

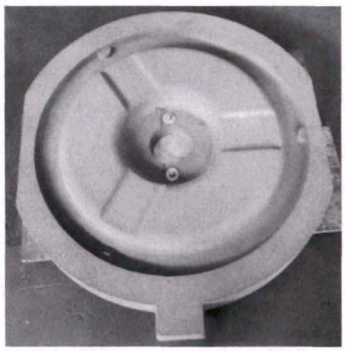

图 16 泥芯外观
Fig.16 Appearance of clay core

图 17 下芯后铸型
Fig.17 Cast after lower core

铸件生产出来后，铸件表面质量良好，尺寸检查符合图纸要求，对铸件本体解剖未出现缩孔、缩松缺陷，而且铸件的金相及性能也通过了第三方检测。

参考文献：

[1] 周亘. 球铁件应该如何补缩[J]. 现代铸铁, 2005(3): 10-15.
[2] 周亘. 球墨铸铁件无冒口铸造可行性论证与实践—球墨铸铁缩孔、缩松问题讨论(一)[J]. 现代铸铁, 2004(3): 1-7.
[3] 周亘. 球墨铸铁冒口补缩失败原因分析—球墨铸铁缩孔、缩松问题讨论(二)[J]. 现代铸铁, 2004(4): 7-14.
[4] 程武超，赵新武，党波涛，等. 球化合金和孕育方法对 GhMoRct (QTRSi4Mo1)球墨铸铁组织及性能的影响[J]. 铸造, 2010(2): 149-152.
[5] 单忠德. 铸铁轮类件工艺与专家系统研究[D]. 西安：陕西机械学院, 1996.