DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.018

ProCAST 模拟仿真技术在铸钢件缺陷预测中的应用

樊　超,王光明,张挨元,杜志强,王虎明,刘跃辉,前里舸尔
(内蒙古第一机械集团公司 第一分公司,内蒙古 包头 014032)

摘　要:利用 ProCAST 铸造模拟仿真软件对某型履带式车辆轮毂铸钢件的铸造工艺进行模拟仿真分析,预测出轮毂铸钢件内在缺陷的主要分布区域。结果表明,通过对铸钢件实物解剖、铸造工艺模拟仿真结果分析等确定了内部缺陷产生的具体部位及形貌特征,找出了缺陷问题产生的规律。通过工艺优化及试验验证,基本解决了轮毂铸钢件的内在质量问题,保证了批量生产的顺利进行。

关键词:铸钢件;ProCAST 模拟仿真;预测缺陷分布;工艺优化;提高质量

中图分类号:TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0705-04

Application of ProCAST Simulation Technology in Defect Prediction of Cast Steel Castings

FAN Chao, WANG Guangming, ZHANG Aiyuan, DU Zhiqiang, WANG Huming, LIU Yuehui, QIAN Ligeer
(First Branch, Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014032, China)

Abstract: ProCAST casting simulation software was used to simulate and analyze the casting process of a tracked vehicle active wheel hub casting steel casting, and the main distribution areas of internal defects of the active wheel hub casting steel casting were predicted. The results show that the specific positions and morphological features of internal defects are determined by dissection of steel castings and analysis of simulation results of casting process. Through process optimization and test verification, the internal quality problem of wheel hub steel castings is basically solved to ensure the smooth progress of batch production.

Key words: cast steel castings; ProCAST simulation; predicted defect distribution; process optimization; improve the quality

近年来,国内外为了提升传统铸造行业的数字化制造技术水平,对铸造过程数值模拟技术进行了大量的研究和开发,研制出了多项科研成果,最著名的模拟仿真技术商品化软件系统有德国的 MAGMASOFT,美国的 ProCAST (现被法国 ESI 集团收购)、FLOW-3D 等等。铸造计算机模拟仿真技术现正在不断发展、壮大,已走出了学术浓重的实验室,不断走进铸造生产第一线。2015 年我公司重金引进了 ProCAST 模拟仿真软件,并开始推进铸造 CAE 模拟仿真技术的研究与应用[1-3]。针对某型履带式车辆轮毂组成件密封油压检测渗油问题,通过运用 ProCAST 模拟仿真软件分析技术,对铸钢件的铸造工艺方案、浇注和凝固过程进行数值计算模拟,准确预测出轮毂铸钢件内部缺陷的主要分布区域,同时对铸造工艺方案进行了优化,并对优化后的铸造工艺方案进行模拟验证,探索出了比较合理的铸造工艺方案,解决了轮毂铸钢件铸造缺陷问题。

1　铸钢件产生渗漏的原因分析

轮毂铸钢件是某型履带式车辆输出行走牵引力系统的重要结构件之一,基数为 2,工作时零件组成系统要求承受 1.0~1.2 MPa 的内在油压,对轮毂铸钢件的内部质量要求较高。现该产品批量生产过程中,轮毂铸钢件加工后进行密封油压试验时,发现轮毂铸钢件普遍存在渗油问题,因铸造缺陷导致的零件不良品率达到了 29%,对产品的生产进度造成了较大影响,经济损失也较大。

经过对存在渗油问题的零件进行统计分析,发现渗油部位主要集中在零件中间处宽 77 的区域内(见图 1)。

收稿日期:2019-03-24

作者简介:樊　超(1984-),内蒙古包头人,工程师.主要从事铸造成形工艺方面的工作.电话:15904728886,
E-mail:fc15904728886@163.com

图 1 铸钢件渗油区域
Fig.1 Ooze oil area of cast steel castings

经随机挑选 3 件不良品进行渗油区域法向多面断面解剖，确认了缩孔缩松缺陷在断面上分布特点及产生规律，缺陷分布及形貌见图 2。

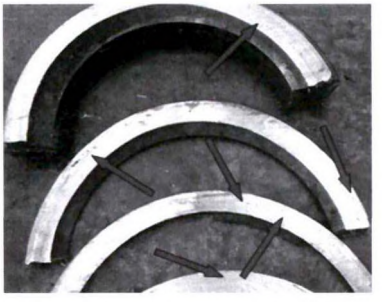


图 2 渗油区域断面缩孔缩松分布
Fig.2 Defects distribution of shrinkage cavity and porosity casting in oil-leakage area

2 铸造缺陷模拟仿真

2.1 模拟分析过程

2.1.1 工艺造型的网格划分

运用三维建模软件 Creo2.0 对铸件进行三维实体铸造工艺造型。用 ProCAST 软件的划分模块对铸件进行网格划分时，模型网格单元的表面三角形最大边长为 7 mm，由此获得四面体网格数为 216326、节点数为 25470，见图 3。

2.1.2 设置材料热物性参数

我公司对工艺中使用材料的热物理性能进行了专业测试，保证了数值模拟仿真计算和分析结果的可靠性，测试后的结果见图 4。

该种材料的密度为 7.8 g/cm^3，固相线温度为 1 446 ℃，液相线温度为 1 503 ℃。

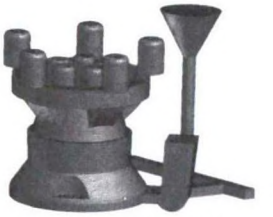


图 3 模型网格划分
Fig.3 Cast steel casting model casting simulation mesh division

2.1.3 设定初始条件和边界条件

根据实际生产工艺确定浇注温度为 1 560 ℃，浇注速度为 16 kg/s，环境初始温度为 25 ℃。

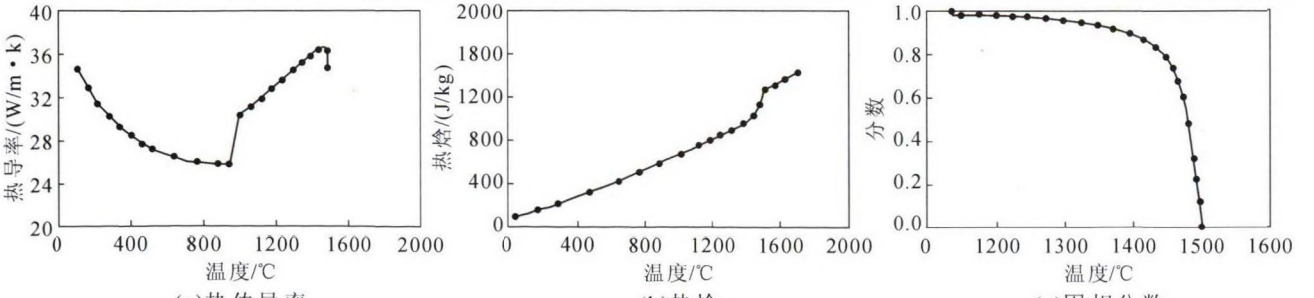
3 模拟计算结果分析

运用 ProCAST 软件对轮毂铸钢件工艺优化前的方案进行模拟计算，模拟结果的缩孔缩松判断见图 5，可以看到原工艺方案模拟结果与实际铸件所存在的缩孔部位相吻合。

从轮毂铸钢件实物解剖和 ProCAST 模拟仿真的结果看，产生缩孔缩松的主要原因是该铸件结构不合理，渗油区域到上方拉筋根部是该铸件最厚大的部位，拉筋根部上方通道较窄，在浇注后凝固过程中，砂型普通冒口没有起到应有的补缩作用，无法形成补缩通道，造成渗油区域到上方拉筋根部的部位补缩能力不足，从而导致缩孔缩松缺陷的产生。

4 优化工艺方案

为确保铸件质量，对工艺方案进行优化，在渗油区域外圆均布 14 块 65 mm×50 mm×30 mm 的外冷铁，内圆放置厚度为 30 mm 的锆砂；在 5 条拉筋根部放置 5 块 40 mm×30 mm×20 mm 的外冷铁；在冒口大小和位置、数量不变的前提下，改为某公司生产的 9/12 K 发热保温冒口套；在拉筋根部上方到中间冒口部位的内孔壁放大冒口补贴，增大补缩通道，增强钢液的补缩能力。调整放大冒口补贴尺寸，可使钢液在浇注过程中形成一个自下而上楔形补缩通道，渗油区域及拉筋根部可以得到充分补缩，彻底解决轮毂铸钢件结



(a)热传导率 (b)热焓 (c)固相分数

图 4 材料主要热物性参数
Fig.4 Main thermophysical parameters of the materials

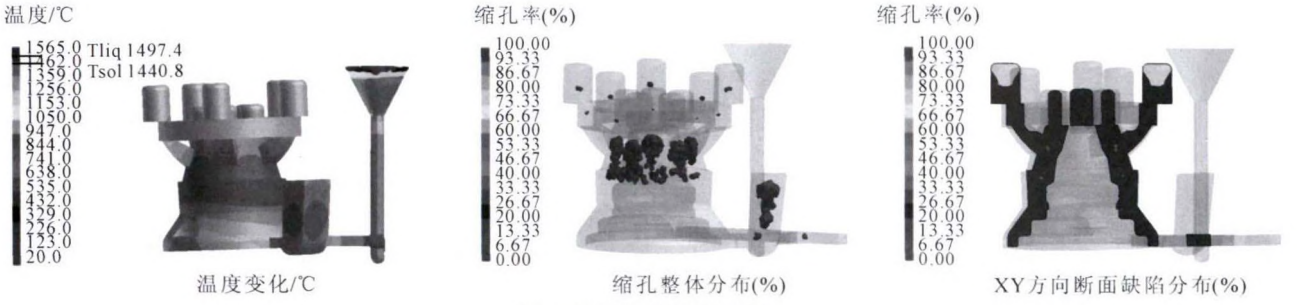


图 5 模拟结果缺陷预测

Fig.5 Casting defects prediction based on casting simulation results

构中补缩通道阻断的问题，并且也有利于钢液将型腔中的浮砂上浮进入冒口内，消除砂眼缺陷。

优化后的工艺方案经过三维建模后，利用 ProCAST 模拟仿真软件进行了数值模拟仿真计算，模拟结果见图 6。

从模拟结果分析来看，优化后方案在原存在缺陷的部位无缩孔缩松缺陷，缩孔缩松缺陷均集中在浇道和冒口内，充分证明了优化后方案的可行性。

5　措施验证及效果

为了验证工艺优化后的铸件质量效果，采用优化后的工艺措施进行了 5 台份轮毂铸钢件试制验证，并对试制后的样件进行了断面解剖、试加工和整体打压试验。

5.1　铸件解剖情况

从优化工艺后的轮毂铸钢件样件中随机抽取 2 件进行解剖，渗油区域多层断面无任何铸造缺陷，内部组织致密，剖面效果见图 7。

根据模拟结果显示，原工艺中冒口下方的拉筋根部部位存在缩孔缩松缺陷，我们在优化工艺后的实物样件对应位置进行了断面解剖，内部组织致密，剖面效果见图 8。

5.2　试加工情况

对优化工艺后的首批 8 件（2 件进行了断面解剖效果验证）轮毂铸钢件样件进行了试加工，加工后表面经着色探伤无任何铸造缺陷。对优化工艺后加工合格的 8 件，按 1.0 MPa（相当于 10 大气压）保压 10 min 进行了打压试验，100%合格。

5.3　批量生产验证情况

在随后的批量生产中，生产轮毂 100 件，加工后打压合格 98 件（2 件轮毂因齿部位置夹砂缺陷贯通而报废）。

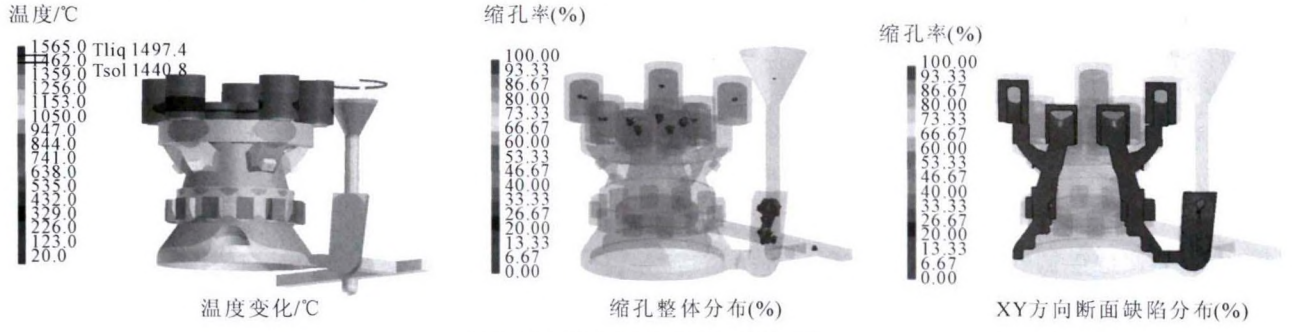


图 6 优化工艺后模拟结果缺陷预测

Fig.6 Defect prediction of simulation results after process optimization

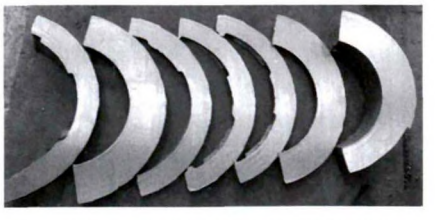


图 7 优化工艺后渗油区域断面组织致密

Fig.7 The dense cross section of oil seepage area after optimization

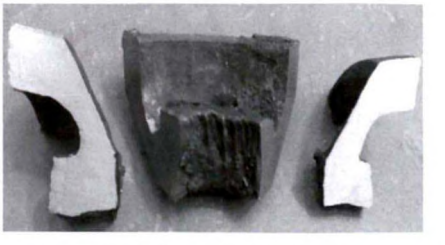


图 8 优化工艺后冒口下方的拉筋根部组织致密

Fig.8 The dense root structure of the draw bar under the riser after optimizing the technology

（下转第 711 页）

我们认为，生铁中P含量主要来源于铁矿石，这不仅与铁矿石的P含量有关,而且与其品位关系较大,衡量铁矿石是否有利于冶炼球墨铸造铁,可以比较其P/Fe比指标，大山生铁矿和烧结矿的P/Fe比分别为1.04×10^{-3}和1.07×10^{-3}，二者无显著差别，建议今后进行增加熟料率的试验。在确保生铁质量的同时,提高产量,降低焦比,改善各项经济技术指标。

3.2 罗布河铁矿粉配比偏高问题

罗布河铁矿粉的配比由15%~20%增至30%后，虽然烧结矿的转鼓强度仍为78%~82%,粒度组成也较好，但该烧结矿使用后,4座高炉炉况均明显变差,不易接受风量,坐塌料次数大增。转产前后高炉炉况对比见表6。

表6 转产前后高炉炉况对比

Tab.6 Comparison of blast furnace conditions before and after conversion

时间	转产前(1~7日)	冶炼期(11~17日)
项目 炉号	坐塌料次数	坐塌料次数
1#	3	10
2#	4	12
全厂	7	22

这就说明烧结矿的还原粉化和熔融等冶金性能降低,建议公司有关部门加强这方面的研究,便于指导高炉生产和操作。

3.3 铁矿石品种选择问题

烧结精矿粉选用凹山磁铁矿，该矿仍含有一定数量的钒(V)、钛(Ti)等元素,导致球墨铸造生铁中含V=0.11%左右。由于V元素的存在,使铁液的黏度增大,铁液粘沟粘灌现象严重,铁损增大(9.7%),建议用铜陵精矿粉和其它原料代替。

4 结论

(1)本次开发的铁液成分波动较大,产品既有球墨铸铁,也有普通铸铁,还有炼钢铁。球墨铸铁成分为Si=1.00%~1.60%、Mn=0.40%~0.80%、S=0.02%~0.045%、P=0.03%~0.08%,其中符合GB/T 1412-2005国家标准的球墨铸造铁8 583 t，成功率83.80%,完全符合机修厂附加要求的产品达7 473 t，成功率72.97%,此次开发是基本成功的。

(2)在马钢现有原料条件下,选择凹山磁铁矿粉、氧化铁皮和罗布河铁矿粉作为烧结铁原料是可以生产球墨铸造铁的，产品的P含量必须执行GB/T 1412-2005国家标准,今后大批量进行工业生产,关键是要确保氧化铁皮、钢屑等原料的供给。

(3)冶炼球墨铸造铁,加硅石是必需的,其粒度在25~50 mm,用量在40~50 kg/t铁效果较好。

(4)按本次冶炼的高炉炉料结构,烧结矿二元碱度应在1.65±0.15,配炭量以5%为宜。

(5)经济效益显著,本次开发的产品成本约为2 150元/t,较公司外部买入价减少650元/t,运输费用减少200元/t。合计为公司节约费用729多万元，再加上球墨铸件本身的经济效益和社会效益更可观。

参考文献:

[1] 刘竹林编著. 炼铁原料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007

[2] 王振龙编著. 烧结原理与工艺 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001.

[3] 于宏杰. 硅石在冶炼铸造生铁中的应用[J]. 云南冶金,1994(11): 19-21, 12.

(上接第707页)

6 结语

(1)通过使用ProCAST模拟仿真技术,能够较准确的预测轮毂铸钢件缺陷产生部位,模拟分析结果与实物缺陷特征及分布基本相吻合,验证了优化后工艺的可靠性,可为优化工艺提供指导性依据。

(2)通过优化工艺方案,结合ProCAST软件模拟分析,显著降低了轮毂零部件发生渗油问题的不良品率，由优化改进前的29%降低到了2%以内,提高了该产品的经济效益。

(3)ProCAST模拟仿真技术可以对新产品铸造工艺进行验证,有效预测铸件缩孔缩松缺陷的分布,提高工艺出品率,辅助铸造工艺的设计与优化。

参考文献:

[1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(5)[M]. 北京:机械工业出版社,2014.

[2] 樊超,杜志强,刘江,等. 利用发热保温冒口解决钩体头部缩孔缺陷的探索[J]. 铸造技术,2017,38(12)3021-3023.

[3] 樊超,张挨元,杜志强,等. Procast模拟仿真技术在平衡肘支架铸造缺陷预测方面的应用[J]. 铸造技术,2019,40(4):394-396.