DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.04.008

铸造 CAE 模拟仿真技术在平台铸钢件中的应用

杜志强,张挨元,樊　超,刘跃辉,左文博,张晓敏,韩　宝,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:针对平台铸钢件机械加工后,固定位置出现铸造缺陷的问题,采用铸造 CAE 模拟仿真技术对原铸造工艺进行了模拟与优化,预测了铸造缺陷的分布位置。结果表明,有针对性的优化工艺,可以降低铸件的不良品率,提高经济效益。

关键词:铸钢;铸造缺陷;CAE 技术;缺陷分布
中图分类号: TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)04-0339-04

Application of CAE Simulation Technology in Platform Steel Casting

DU Zhiqiang, ZHANG Aiyuan, FAN Chao, LIU Yuehui, ZUO Wenbo, ZHANG Xiaomin, HAN Bao, QIANLI Geer
(First Branch of Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014032, China)

Abstract: In order to solve the casting defects in a fixed location of platform shaped steel castings, solidification simulation software ProCAST was used to simulate defects and their distribution of platformed steel castings and optimize the casting method. Using optimized casting method, the quality of the steel castings and economic benefit are enhanced.

Key words: cast steel; casting defects; solidification simulation technology; platform shaped casting

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 CAE 模拟仿真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。铸造 CAE 模拟仿真技术正在不断发展、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。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[3]。平台铸钢件是某型旋转机构系统组成部件的关键零件之一,在旋转机构系统组成上起连接与固定的作用。在旋转机构系统组成部件运行过程中,交变应力传递到平台上,平台受强烈动载荷,承受着较大冲击力。平台的质量好坏对某型旋转机构系统组成部件的安全性和可靠性有重要影响,所以,该平台铸钢件整体精加工后不允许出现任何铸造缺陷。现平台铸钢件在机械加工后,固定部位偶有缩孔铸造缺陷发生(见图 1),因铸造缺陷导致的平台零件不良品率达到了 16%, 问题件在返修时,需焊修、回火去应力,并在数控加工床上重新准确定位加工,缺陷排除难度较大,返修费用高,给我公司造成较大的质量损失。针对该情况,本研究利用法国 ESI 公司开发的铸造 CAE 模拟仿真分析软件 ProCAST, 对我公司生产的平台铸钢件原铸造工艺的充型、凝固过程进行了模拟分析,根据模拟结果与实物铸造缺陷进行分布比对,提出工艺优化方案, 并按照优化后的铸造工艺进行实际生产验证。



图 1 平台零件铸造缺陷位置
Fig.1 Locations of the casting defects on platform parts

1　模拟及分析

1.1　平台结构特点

平台铸钢件轮廓尺寸为 568 mm×453 mm×

收稿日期: 2019-12-10

作者简介: 杜志强(1979-),内蒙古包头人,学士,工程师.主要从事铸造新工艺、新材料、新方法及计算机模拟等多方面的研究与管理工作.电话:15949481803,
E-mail:nmyjdzq@163.com

通讯作者:樊　超(1984-),内蒙古包头人,学士,工程师.主要从事铸造成型工艺及计算机模拟方面的工作.
电话:15904728886,E-mail:fc15904728886@163.com

168 mm，主要壁厚 26 mm，最大壁厚 58 mm，铸件重 69 kg，该产品整体需要机械加工，加工平面上的螺纹孔和通孔较多，内外结构形状较复杂，内部质量要求高，精加工后不允许发生任何铸造缺陷。

1.2 铸造工艺参数

平台原铸造工艺详细流程为：①工艺布置为立式底注浇注，由 2 个型芯对开组成，设有 1 条进浇道；②造型采用酯硬化水玻璃砂自动化生产线，型芯采用普通水玻璃砂手工打制；③在易发生缩孔铸造缺陷的热结部位采用了锆砂作为面砂；④顶部设有一个 340 mm×76 mm×230 mm 型砂普通暗冒口，冒口上方钻 ϕ10 mm 排气孔 3 个；⑤砂型在造型生产线上按设定时间节拍运行，在 100~150 ℃的表干炉中烘干表层水分；⑥浇注温度为 1 560~1 580 ℃，环境温度为 25 ℃，每箱钢液总重量为 575 kg；⑦铸件加工余量取 6~10 mm，浇注完毕 8 h 后打箱，打箱后再进行铸件清砂、清理、热处理、抛丸等工序处理 [1,2]。根据以上原工艺方案，对原铸造工艺进行 ProCAST 铸造模拟仿真分析，根据模拟仿真结果，与平台铸钢件铸造缺陷实际分布进行比对，验证 ProCAST 铸造模拟软件的科学性与准确性。

1.3 材料热物性参数

对原工艺中使用钢种材料的热物理性能进行了专业测试，保证了 ProCAST 模拟仿真求解计算和分析结果的可靠性，测试后的结果见图 2。该钢种材料的密度为 7.82 g/cm^3，固相线温度为 1 453 ℃，液相线温度为 1 509 ℃。

1.4 网格划分

在 ProCAST 铸造模拟仿真的网格划分中，为了保证模拟结果的准确性，对平台铸钢件原铸造工艺三维模型的表面进行了三角形网格划分，单元边长设置为 6 mm，计算出表面网格数量为 68 496，四面体网格数量 485 305，见图 3。

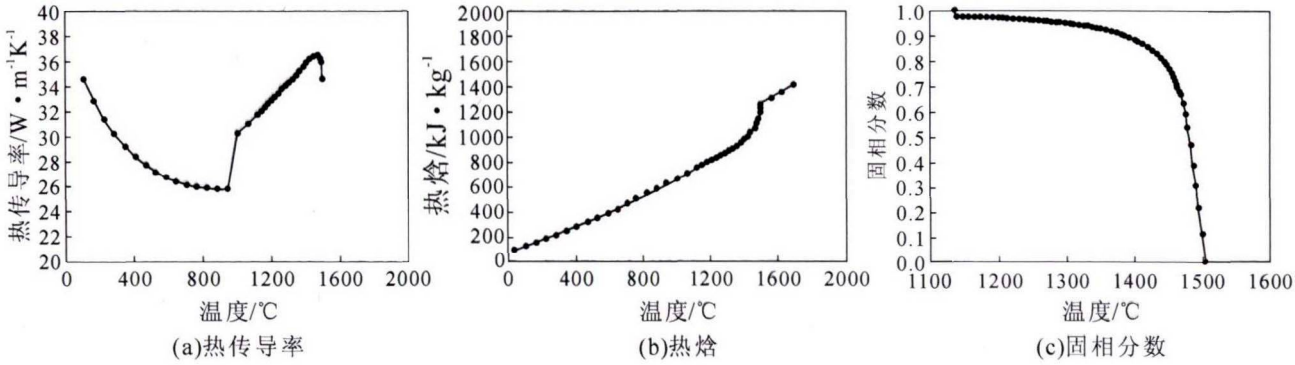


图 2 材料主要热物性参数

Fig.2 The main thermophysical parameters of the materials



图 3 原工艺三维模型网格划分

Fig.3 Mesh division of original process 3D model

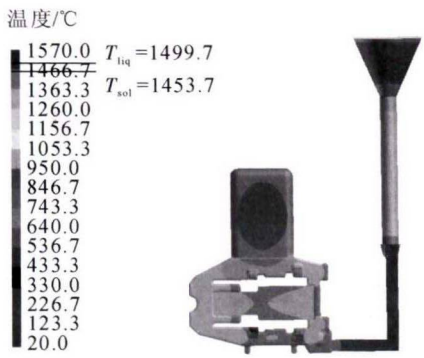


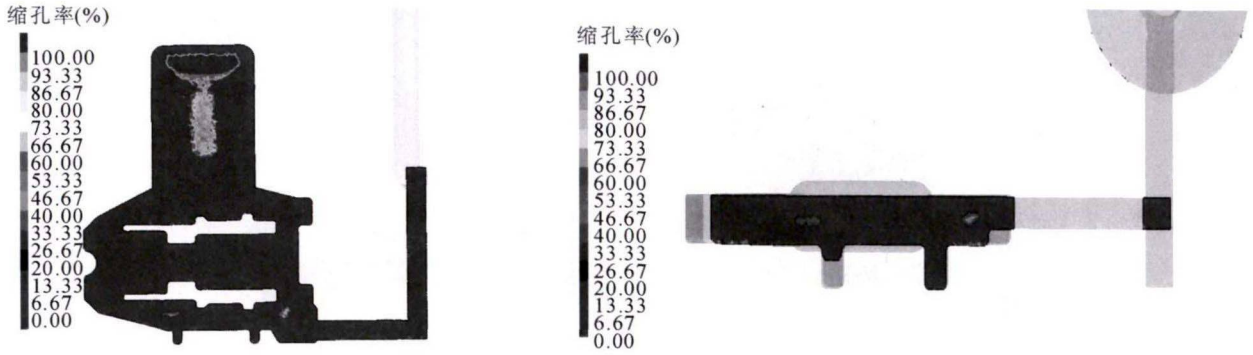
图 4 原工艺温度场模拟

Fig.4 Temperature field simulation of original casting process

1.5 铸造模拟过程分析

对平台铸钢件原铸造工艺模拟结果进行分析，在温度场中可直观地看到平台铸钢件各个部位完全凝固时所需要的时间及整个铸件的凝固顺序。由图 4 中可看出凝固时在平台铸钢件正下方和进浇道的热结位置温度较高，形成了独立液相区，周围钢液不易对其进行补缩。如果热结处的锆砂未放足量，很容易产生缩孔铸造缺陷，该浇注系统没有达到顺序凝固的良好补缩效果，铸件的重要部位成为了最后凝固区，形成缩孔缺陷。

将平台铸钢件缩孔模拟结果与铸件实物实际缩孔铸造缺陷位置比对后，缩孔缺陷分布情况基本相同，具体缩孔模拟结果见图 5。



(a)YZ方向　　(b)XY方向

图 5 原工艺缩孔铸造缺陷模拟

Fig.5 Simulation of shrinkage casting defects with original process

2 优化工艺方案及模拟分析

2.1 优化方案

为完全解决平台铸钢件固定部位缩孔铸造缺陷，提高铸件质量，通过实践总结及探讨交流，决定采用改变平台铸钢件工艺布置的方法进行工艺设计改进。优化后的方案将平台铸钢件铸造工艺设计为平浇工艺，新制 1 个型芯，将平台铸钢件最大平面作为分型面，把铸件完全放置在下模型中，上模型只设置了 2 个型砂普通暗冒口。该工艺方案设计为中注式浇注系统，共 2 条进浇道，内浇道与冒口相通，钢液由冒口内进入铸型，由于平台铸钢件高度落差较小，可保证充型平稳；同时，良好的补缩能力，便于平台铸钢件实现顺序凝固，利于渣、气上浮到型砂普通暗冒口内。在铸件凝固过程中，固定部位热节随着铸件顺序凝固向型砂普通暗冒口内上移，最终使凝固后期形成的缩孔铸造缺陷被集中到冒口中，保证了铸件内部的致密性，从而消除固定部位的缩孔铸造缺陷(见图 6)。



图 6 优化工艺后的三维模型

Fig.6 The 3D model after optimizing the casting process

2.2 方案模拟

优化后的铸造工艺方案三维模型中，为了保证模拟结果的准确性，在用 Procast 铸造模拟的网格划分中，对平台铸钢件三维模型的表面网格三角形单元边长设置为 6 mm，计算出表面网格数量为 67 546，四面体网格数量为 498 379，见图 7。

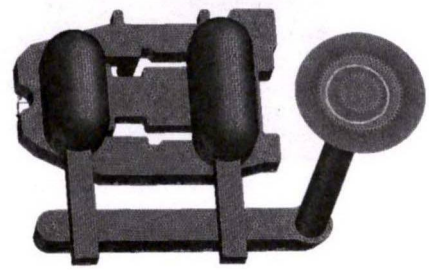


图 7 优化工艺后三维模型网格划分

Fig.7 3D model mesh generation after optimization of casting process

对平台铸钢件优化后的铸造工艺模拟结果进行分析，与原铸造工艺方案比对，温度场中实现了自下而上可靠的顺序凝固效果，见图 8。同时，平台铸钢件固定部位的缩孔铸造缺陷也完全消失，缩孔铸造缺陷顺利上移到了普通型砂暗冒口内，见图 9。

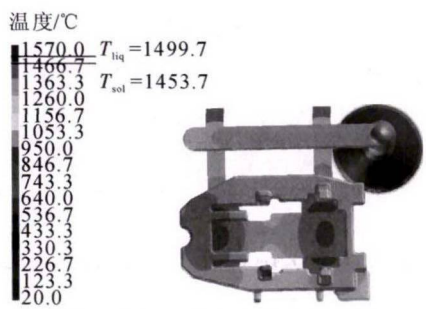
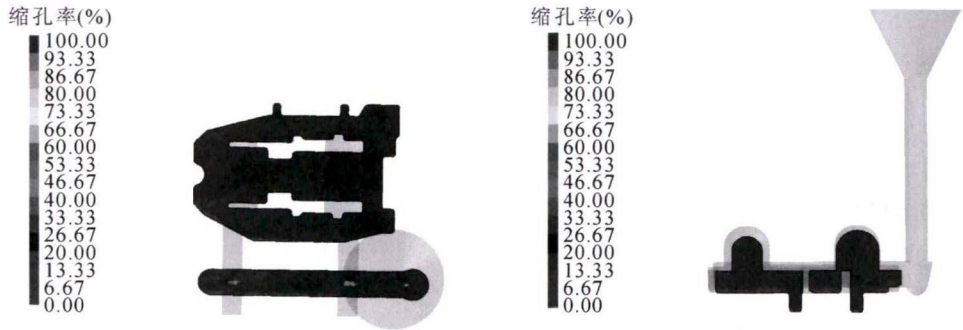


图 8 优化工艺方案温度场模拟

Fig.8 Simulation of temperature field after optimization of casting process

3 生产验证

在铸造 CAE 模拟仿真技术的基础上，按照优化后的方案重新制作了新模型进行试生产验证。首批生产 10 件平台铸钢件样件进行了全工序机械试加工，未发现任何铸造缺陷(见图 10)，本批次平台零件合格率 100%，充分验证该优化后的工艺方案是



(a)YZ方向　　(b)XY方向

图 9 优化工艺方案缩孔铸造缺陷模拟

Fig.9 Simulation of shrinkage cavity casting defects after optimization of casting process

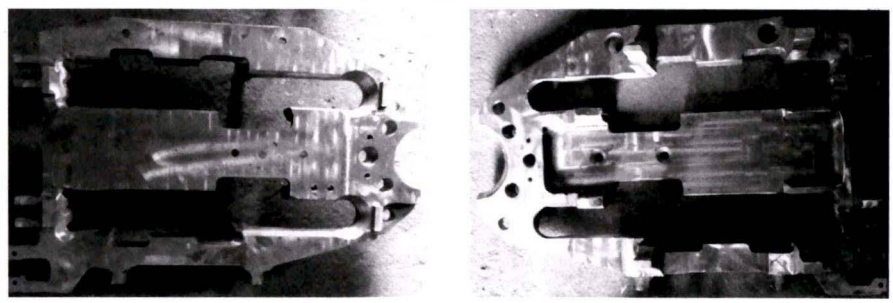


图 10 优化工艺方案加工后的平台零件

Fig.10 Platform parts after optimization process

科学的、可靠的、有效的。

4 小结

(1)通过研究与应用铸造 CAE 模拟仿真软件 ProCAST，较准确地预测出了平台铸钢件铸造缺陷产生的具体部位，模拟分析结果与实际铸造结果基本相吻合，验证了铸造模拟仿真技术得科学性与可靠性，可为铸造工艺设计与改进提供指导性帮助。

(2)应用铸造 CAE 模拟仿真技术可优化铸造工艺设计，有效控制钢液的充型、凝固过程，准确预测出铸件可能会出现铸造缺陷的部位，从而有效辅助工艺技术人员制定工艺方案及对优化后的工艺方案进行评估，实现对铸造工艺的最优选择。

(3)通过重新对平台铸钢件进行工艺设计，结合铸造 CAE 模拟仿真结果分析，显著降低了平台铸钢件固定部位发生缩孔铸造缺陷的不良品率，新工艺批量生产后，产品质量提升显著，由改进前的 16%降低到 2%以内，提高了该产品的经济效益。

参考文献：

[1] 李晨希. 铸造工艺设计计及铸件缺陷控制[M]. 北京：化学工业出版社，2009.

[2] 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.

[3] 樊超，王光明，张挨元，等. ProCAST 模拟仿真技术在铸钢件缺陷预测中的应用[J]. 铸造技术，2019，40(7): 705-711.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628