

基于 ProCAST 的轮轴铸钢件砂型铸造工艺优化

韩 宝, 马彦伟, 李志杰, 高海燕, 宝喜庆, 武玉平

(内蒙古第一机械集团股份有限公司第一分公司, 内蒙古包头 014030)

摘要: 介绍了轮轴铸造工艺设计与优化, 以及在工艺设计和优化过程中采用ProCAST模拟软件对其进行模拟的结果。结果表明, 铸件上部厚大部位热节大, 原工艺浇注系统不利于铸件形成顺序凝固, 补缩效果差, 易形成缩孔、夹砂缺陷。通过改进浇道系统、芯子结构等工艺方法, 减少了铸造缺陷, 提高了产品合格率。

关键词: 铸钢件; ProCAST模拟; 工艺优化; 缩孔

轮轴是某车型上的关键零部件, 内部质量要求高, 铸件加工部位多, 加工余量大, 受结构限制, 在加工过程中发现铸件内部有缩孔、砂眼等铸造缺陷, 缩孔和夹砂主要集中在上筒内外壁和花边平台上, 在生产过程中, 毛坯合格率为99%以上, 但加工后, 不合格品率为21%, 其中废品率为3%。设计中使用ProCAST铸造模拟软件对铸件在充型和凝固过程中的温度场进行模拟仿真, 研究了两种浇注系统对铸件疏松缩孔缺陷的影响, 达到工艺优化的目的。根据正交实验法优化工艺方案^[1], 所生产的产品废品率得到较好的控制, 进一步提高了产品机加后的质量, 提升综合合格率, 提高了企业的经济效益。

1 产品的结构及原工艺方案

轮轴为某车中的关键零件, 轮廓尺寸 $\Phi 246 \text{ mm} \times 403 \text{ mm}$, 重量约75 kg, 属于轴类小结构零件, 铸件三维立体如图1。由于产品加工面积大, 内部质量要求高, 所以铸造工艺的设计难度大。铸件化学成分见表1。

造型采用DS80酯硬化水玻璃造型生产线, 造型工艺流程为混砂、振实、烘干、脱模、下芯、合箱、浇注, 普通水玻璃砂制芯, 二氧化碳硬化, 熔炼选用20 t偏心底电弧炉和25 t LF精炼炉。零件铸造工艺三维模型如图2, 根据零件的结构, 在花边平台处分型, 分型面以下圆筒位于下箱, 下箱设计一个芯子形成铸件内腔结构, 其余都在上箱, 上箱最上端设置 $\Phi 300/\Phi 190 \times 150 \text{ mm}$ 随型圆柱形冒口, 用于集砂、排气、补缩。采用中注式浇注系统, 每个铸型一个直浇道、两个内浇道, 金属液通过内浇道注入型腔中, 布置为一型三件。浇注温度设计为 $1\ 560 \sim 1\ 575 \text{ }^\circ\text{C}$, 浇注时间为 $20 \sim 30 \text{ s}$ 。

2 数值模拟与结果分析

2.1 工艺参数设置

使用三维建模软件Creo2.0对铸件工艺进行建模, 采用ProCAST软件对其进行工艺模拟^[2-5]。首先对零件铸造工艺模型进行网格划分, 如图3所示, 网格尺寸为 15 mm , 体网格数量为186 772。

铸件从浇注到冷却结束经历金属液充型、金属液凝固两个阶段。铸件材料为ZG32Mn, 铸型材料为石英砂。利用Visual-Cast前处理模块对有限元模型进行材料性能、边界条件、初始条件等参数设置, 如表2所示。

作者简介:

韩 宝(1987-), 男, 硕士, 主要研究方向为铸造工艺技术及铸造新材料、新方法的应用。E-mail: hbx2018@163.com

中图分类号: TG26

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)02-0253-06

收稿日期:

2020-06-15 收到初稿,
2020-09-26 收到修订稿。

2.2 模拟及结果分析

2.2.1 充型过程分析

采用砂型重力浇注，首先对铸件进行充型模拟分析，浇注温度较高、时间短，在型腔全部充满时铸件温度仍然处于合金液相线以上，无浇不足现象，充型过程如图4所示。由图4a可以看出，开始浇注时，钢液由浇口管平稳流入浇道，从图4b可以看出，钢液由内浇道进入型腔时直接冲刷中间砂芯平台，而后钢液再沿铸件向下充型，如图4c, d所示，最后钢液由下向上充满型腔。

2.2.2 凝固过程分析

铸件随时间开始凝固，铸件整体呈现顺序凝固原则，保证铸件上各部分能按照远离冒口部分先凝固，然后冒口部分最后凝固。如图5所示，温度场显示铸件冷却过程，从整体图和剖面图可以看出，在铸件厚大部位存在孤立液相区。从图6缩孔分布显示也可以看出，厚大部位存在铸造缺陷，最后凝固时没有足够钢液补缩，在此处形成缩孔缺陷。

2.3 缺陷分析

从结构上看，铸件上箱颈部较高，体积大，热节较大，浇注后，不能很好地补缩中、下部热节，导致中、下部热节部位组织不够致密。图7为铸件加工后缺陷部位，与模拟缺陷部位结果相同。从工艺上看，浇注系统在分型面上，图4可看出，钢液由内浇道进入型腔时直接冲刷中间砂芯平台，而后从底部开始向上充型，充型过程为向下直流钢液与底部向上旋流钢液同时进行，容易出现涡流现象，钢液无法形成从下到上的浇注顺序，不利于杂质、气体的向上浮动。另外，钢液直接冲刷中间砂芯平台，砂子和钢液卷流在一起，容易将砂子卷在铸件底部和颈部厚大处，形成夹砂。从图5、6的凝固顺序可以看出，浇道系统先凝固，排气通道堵死，向内压力增大，气体只能向上排出，由图5b剖面可以看出，铸件厚大处外部先凝固，心部未完全凝固时，铸件上端已凝固，导致厚大处无法及时给以补缩，形成缩孔。所以，零件壁厚不均，浇注工艺设计问题导致砂、渣、气体上浮通道不畅通，是铸件产生夹砂、缩孔等铸造缺陷的主要原因。

3 铸造工艺改进

根据模拟分析表明，原浇注系统不利于钢液从下到上的顺序浇注，对凝固顺序有影响，使得中间厚大凝固部分滞后，凝固不能平稳过渡，中间热节厚大部位易形成缩孔。为了降低夹砂、缩孔缺陷，使钢液形成从下到上的浇注顺序，避免浇注时钢液直接冲刷芯

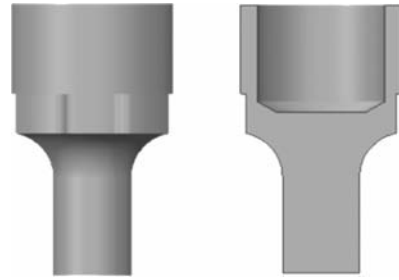


图1 铸件及内部结构三维图

Fig. 1 Three-dimension diagram of casting and its internal structure

表1 铸件的化学成分

Table 1 Chemical composition of casting							$w_B / \%$
C	Si	Mn	P	S	Ni+Cu	Mo	
0.29 ~ 0.36	0.20 ~ 0.50	0.70 ~ 1.10	≤ 0.040	≤ 0.040	≥ 0.30	0.15 ~ 0.35	

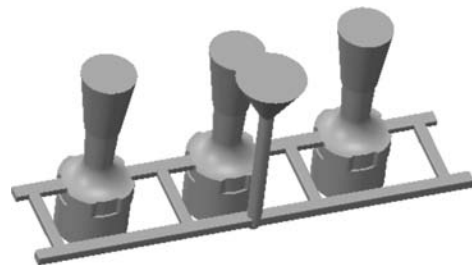


图2 铸件铸造工艺三维图

Fig. 2 Three dimensional diagram of casting process of wheel axles

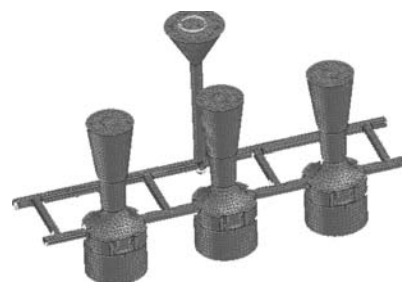


图3 工艺模型网格划分

Fig. 3 Grid division of process model

表2 参数设置

Table 2 Parameter settings

参数名称	实际参数设置
材料	铸件：铸钢32Mn 铸型：石英砂
界面换热系数	$h=900 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
边界条件	浇注速度：10 kg/s 冷却方式：空冷
初始条件	浇注温度：1 570 °C 铸型初始温度：25 °C
浇注方式	砂型重力浇注
重力方向	-Z方向
运算时间	充型流动：30 s
停止条件	1 000 °C

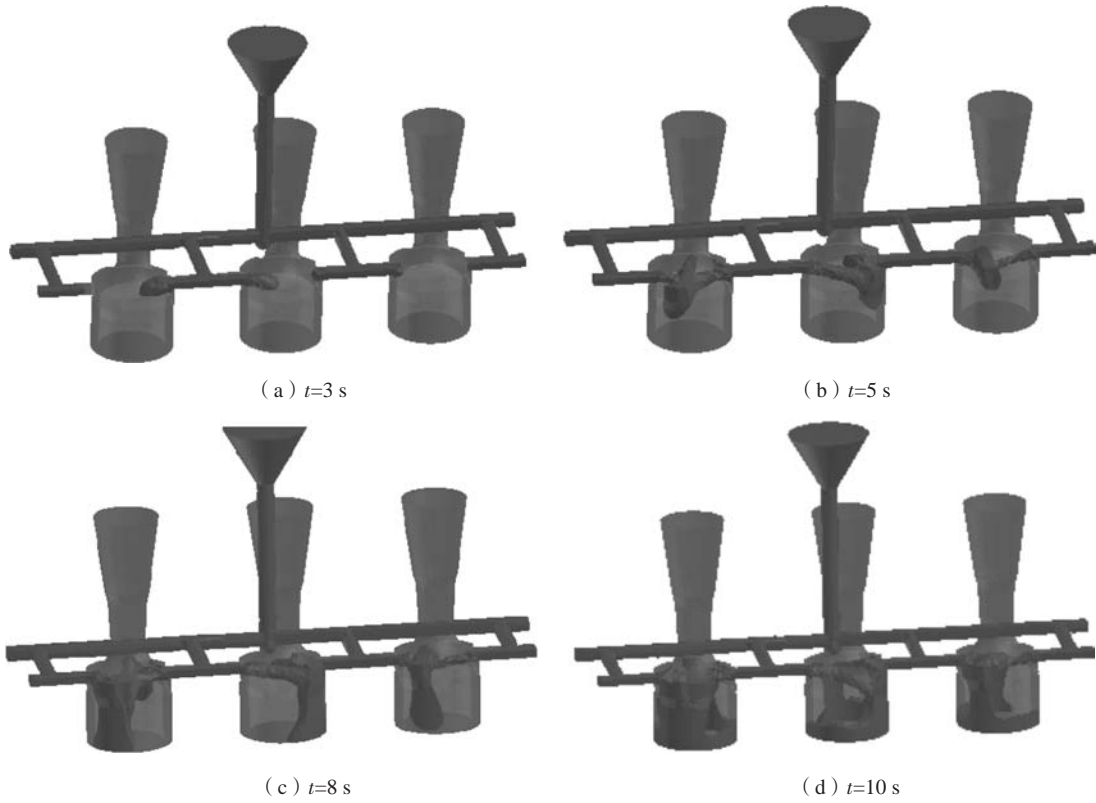


图4 模拟充型过程图

Fig. 4 Simulation results of mold filling process

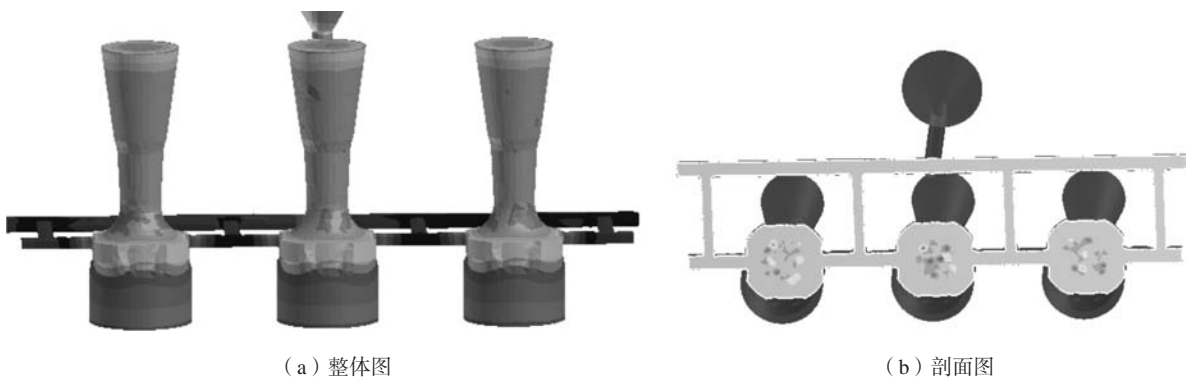


图5 模拟凝固过程图

Fig. 5 Simulation results of solidification process

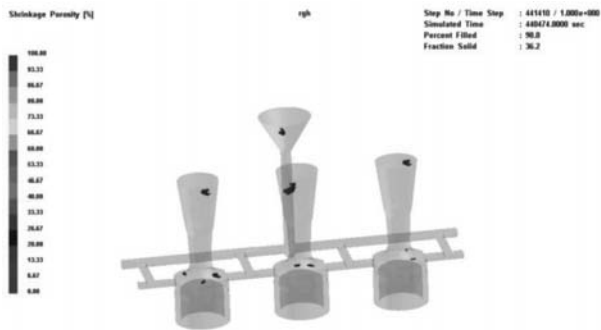


图6 铸件缩孔分布

Fig. 6 Distribution of shrinkage defects in casting



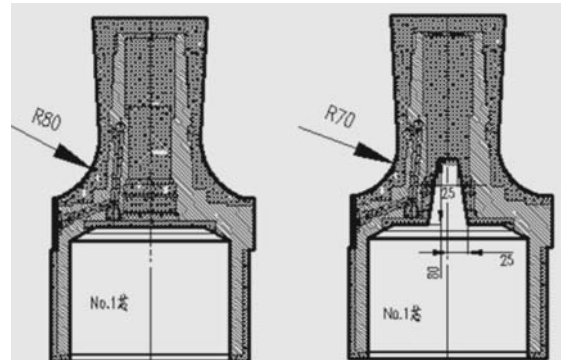
图7 铸件加工后暴露的缺陷

Fig. 7 Exposed defects after casting machining

子,改进铸造工艺:①将上筒圆弧处 $R80$ mm的加工余量减小到 $R70$ mm(图8),可以减少热节,改善缺陷,减少铸件重量和加工成本;②在No.1号芯子上部增加一凸台(图8),可以增加透气性,减少杂质的聚集,提高铸件质量,同时可以减小铸件重量,减少加工余量,降低加工成本;③No.1芯平台处刷两遍涂料,改善芯子表面质量,减少夹砂;④浇注系统改为底注式,使钢液形成从下到上的浇注顺序,有助于铸件形成顺序凝固,加大补缩效果,改进后浇注系统如图9所示。

4 生产验证

为验证上述工艺改进效果,采用与改进前数值模拟相同参数开展模拟试验。图10为改进后模拟充型过程,从图中可以看出,钢液开始充型时,由内浇道直接流入型腔底部,不会冲刷中间No.1芯;随着充型的进行,钢液从底部开始呈顺序旋转模式充型,达到改进目标,钢液随时间开始凝固。图11为改进后模拟凝固过程图,固相率达到75%的区域会在动画中消失。由图11a可见,后凝固高温钢液上移,铸件整体实现顺序凝固,保证铸件上各部分能按照远离冒口部分先凝固,然后冒口部分最后凝固;图11b固相率显示铸件厚



(a) 改进前

(b) 改进后

图8 零件工艺结构改进对比图

Fig. 8 Comparison of casting process before and after improvement



图9 零件浇注系统改进三维图

Fig. 9 Three dimensional diagram of gating system improvement

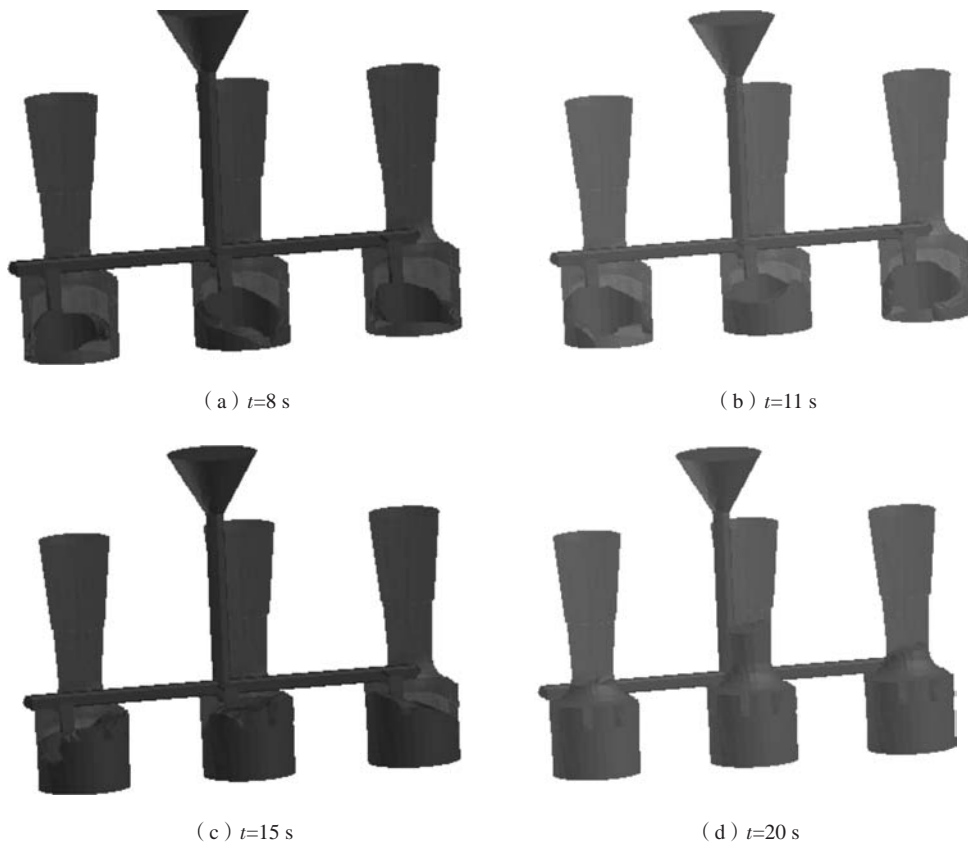


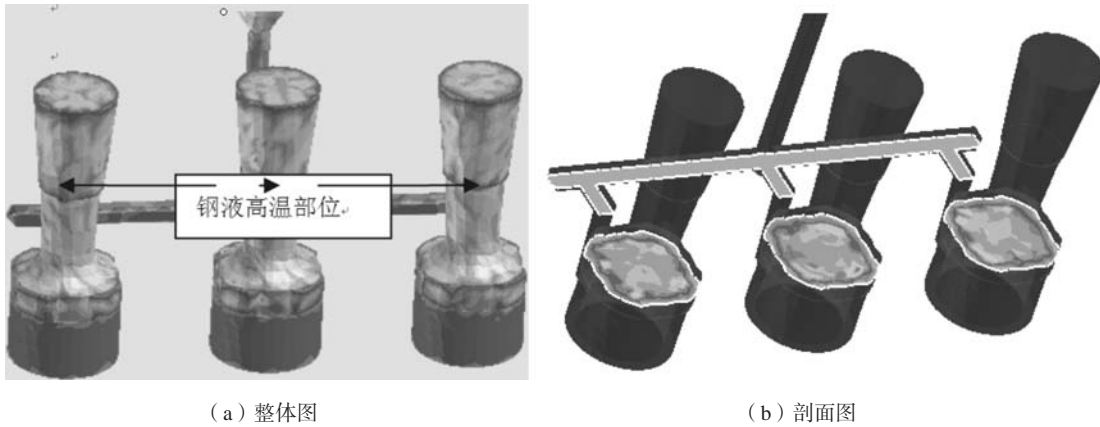
图10 改进后模拟充型过程图

Fig. 10 Simulation results of mold filling process after casting process improvement

大部位凝固时没有孤立液相区，铸造缺陷全部留至冒口上端。图12缩孔分布显示没有产生铸造缺陷，铸造缺陷全部留至冒口和浇道中，说明工艺改进方案合理。

为验证上述模拟工艺改进在实际生产是否有效，采用与数值模拟相同参数开展该铸件的生产，共生产200件，结果有缩孔、砂眼等铸造缺陷的3件，综合合

格率达到98%以上，并对厚大部位进行解剖验证，如图13所示，横向、纵向解剖结果均无缺陷。图14是铸件加工后效果，铸件加工后的表面没有缩孔、缩松类缺陷，表面只存在个别米粒大的夹杂类缺陷，此类缺陷为铸造无法避免缺陷，都在标准要求范围内。结果表明，通过CEA技术的ProCAST模拟软件，选择合理的铸造工艺大大提高了铸造质量。



(a) 整体图

(b) 剖面图

图11 改进后模拟凝固过程图

Fig. 11 Simulation results of solidification process after casting process improvement

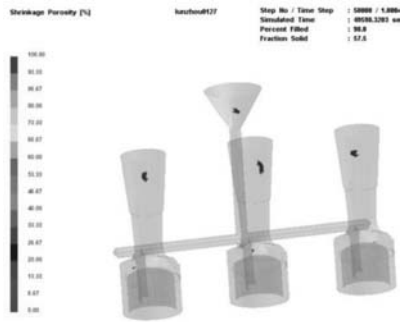
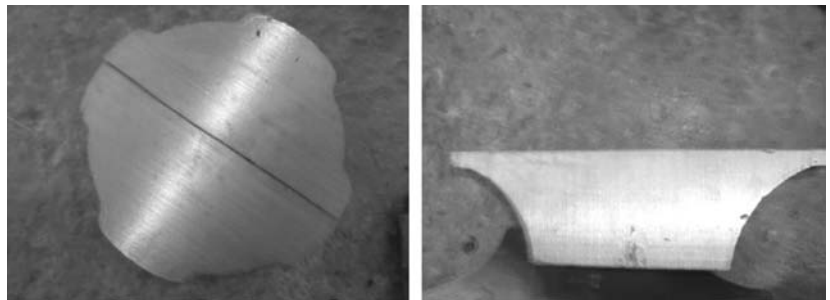


图12 改进后模拟铸件缩孔分布

Fig. 12 Distribution of shrinkage defects after casting process improvement



(a) 横向

(b) 纵向

图13 铸件解剖图

Fig. 13 dissected casting



图14 铸件加工后效果图

Fig. 14 Non-defective castings after machining

5 结论

(1) 该铸件缺陷出现在厚大部位, 铸件结构、型芯透气性和浇注系统的设计对浇注质量产生明显的影响。

(2) 通过工艺改进, 生产的200件轮轴中有缩孔、砂眼等铸造缺陷共4件, 综合合格率达到98%以上, 铸造质量得到提高, 可以运用该工艺进行批量生产。

参考文献:

- [1] 王禹明, 张可人, 张洁. 薄壁筒体铸件的熔模铸造数值模拟 [J]. 铸造, 2016, 65 (4): 342-344, 350.
- [2] 张帅, 王宏勋, 孟昭昕, 等. 基于ProCAST的底座压铸充型模拟与工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36 (11): 1165-1168.
- [3] 申恩强, 樊自田, 龙威, 等. 车钩钩舌的铸造工艺模拟与优化 [J]. 铸造, 2011, 60 (8): 765-768.
- [4] 卢永祥, 师素粉. 基于ProCAST的熔模铸造工艺改进 [J]. 铸造技术, 2011, 32 (4): 590-593.
- [5] 周挤, 范金辉, 吴兴远, 等. 汽车制动钳体冒口颈缩孔工艺改进 [J]. 铸造技术, 2016, 32 (9): 2014-2016.

Optimization of Sand Casting Process for Wheel Axle Steel Castings Based on ProCAST Simulation

HAN Bao, MA Yan-wei, LI Zhi-jie, GAO Hai-yan, BAO Xi-qing, WU Yu-ping
(The First Branch of Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014030, Inner Mongolia, China)

Abstract:

This paper introduces the casting process design and optimization of wheel axle steel castings and the process simulation results. The results show that there is a large hot spot in the thick part of the upper part of the casting, and the original pouring system is not conducive to the sequential solidification of the casting, which result in poor feeding effect, and make the defects of shrinkage and sand inclusion easy to form. By improving the pouring system and core structure etc, the casting defects are reduced and the qualified rate of the products is increased.

Key words:

steel casting; ProCAST simulation; process optimization; shrinkage
