

汽车减速器箱盖砂型铸造工艺模拟分析

高东强, 翟彦青, 朱小倩, 李少智

(陕西科技大学机电工程学院, 陕西西安 710021)

摘要: 以AZ91D镁合金汽车附件减速器箱盖为对象, 利用ProCAST数值模拟软件对砂型重力铸造过程中流场和温度场进行模拟, 并预测了铸造缺陷(缩孔与缩松)存在的区域。基于模拟结果, 在铸件的凸台面增加了8个矩形冒口, 使凝固时间延长, 从而将缺陷转移至冒口位置。通过工艺模拟优化, 铸件缺陷得到了有效控制, 保证了铸件质量和生产效率。

关键词: 减速器箱盖; ProCAST; 缩松缩孔; 冒口

汽车附件减速器箱盖作为减速器的重要零件, 与箱体组成了减速器的外壳, 是减速器轴系、齿轮与轴承等零件放置的空间与基础^[1-2]。通常, 在复杂工矿环境中服役的减速器箱盖结构相对复杂, 难以通过一次成形来确保其组织致密性。因而, 在减速器箱盖的铸造过程中, 对铸件的缺陷(缩松、缩孔和裂纹等)控制提出了苛刻的技术要求。为了提高产品出品率和生产效率, 在减速器箱盖的铸造过程中应用数值模拟技术以预测铸造缺陷^[3-4]。基于模拟结果改进成形工艺, 提高铸件的整体质量与使用寿命。因此, 本研究以减速器箱盖为研究对象, 利用铸造模拟软件ProCAST对铸件中可能出现的缩孔、缩松的位置与类型进行了分析, 并根据模拟结果对浇注系统采取优化设计, 旨在缩短产品试制周期, 确保铸件质量^[5-7]。对提高产品出品率、降低铸造零部件成本具有理论与实践意义。

1 汽车附件减速器箱盖工艺分析及模拟前处理

减速器箱盖为壳体机构, 是带有圆柱通孔板块结构的承载体^[8], 其结构如图1所示。箱盖壁厚均匀, 内腔结构包含了加强筋、圆形孔、方型孔等, 箱盖总长688 mm, 总宽292 mm, 总高186 mm。为了保证镁液平稳充型, 浇注系统采用封闭开放式浇注系统, 该结构的阻流截面设在横浇道和内浇道连接处^[9-11], 具体位置见图2a。本研究利用UG软件建立了减速器箱盖的三维模型, 并将其以.X_T格式导入ProCAST中进行网格划分^[12](图2b), 最终形成719 415个节点和5 787 296个单元。

本设计选择砂型重力铸造, 重力指向的方向为直浇道金属液流入方向。铸件材料选用AZ91D镁合金, 其固相温度为422 °C, 液相温度为602 °C。铸件与砂之间的热交换系数 $h=500 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 浇注温度选为680 °C, 铸型预热温度为215 °C, 铸型与空气之间是自然空冷。

2 原工艺充型凝固模拟及分析

2.1 充型过程模拟与分析

图3为铸件在不同充型量下金属液的充型模拟图。从镁熔体的流向可知金属液由内浇口进入铸件, 此时流动速度较为缓慢, 属于流动平稳阶段。由图3可知, 熔体的充型量在60%以内时并未发现严重的卷气现象。镁熔液进入腔底时, 在砂型外壁的冲击力作用下型腔内气体有足够的时间从分型面的间隙排出(图3a-c)。随着充型量的增

作者简介:

高东强(1960-), 男, 博士, 教授, 研究方向为先进制造技术、材料加工工程。电话: 13809159735, E-mail: gaodq@sust.edu.cn

中图分类号: TG245

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)05-0523-05

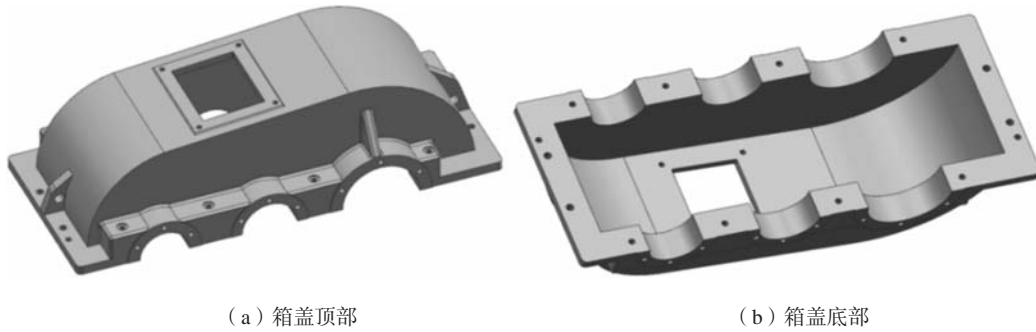
收稿日期:

2019-09-09 收到初稿,
2019-12-10 收到修订稿。

加, 镁熔体的流量逐渐增加, 镁熔体均匀向箱盖 upper 流动 (3d-e)。充型量达到95%时, 镁熔体已经全部充满型腔, 且并未发现浇不足的现象。

由于金属液体充型过程中流动受阻, 随即产生的气泡和氧化夹杂物会影响铸件的铸造性能。ProCAST

能够清楚地模拟型腔内金属熔体的流动过程, 准确显示紊流导致的浇不足、冷隔与裹气等现象。图4为气相运动轨迹图。充型过程中高温金属液体遇到冷铁、通孔、凸台等障碍物时, 常常被分成多股液流, 从而产生充型紊乱, 导致裹气的产生。如图4d所示, 在完全

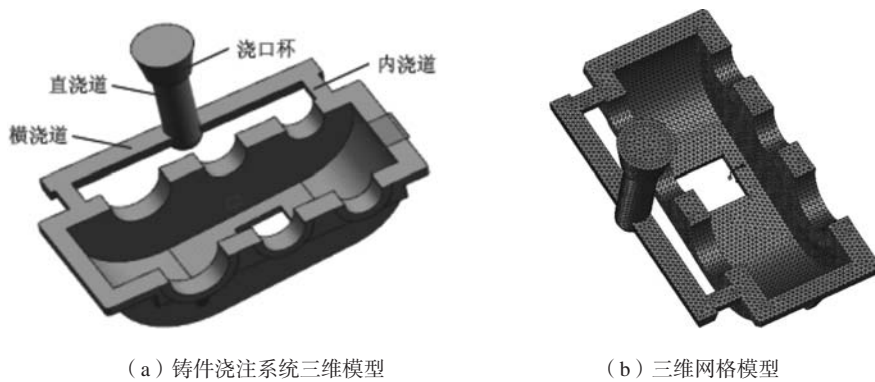


(a) 箱盖顶部

(b) 箱盖底部

图1 箱盖三维模型

Fig. 1 3D model of cover

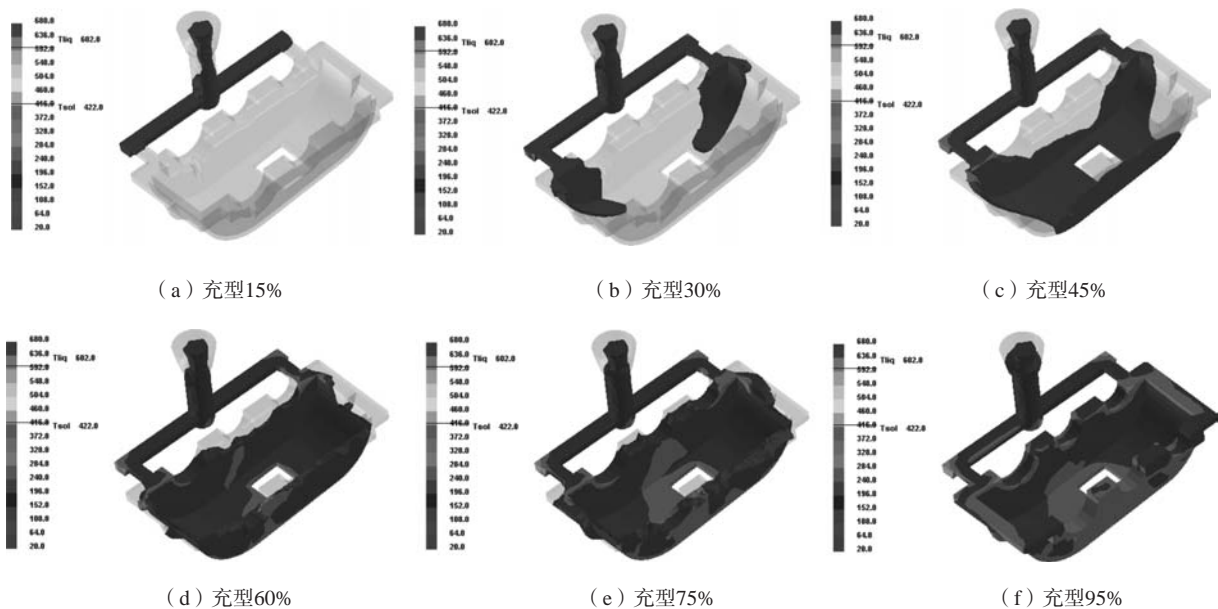


(a) 铸件浇注系统三维模型

(b) 三维网格模型

图2 铸件三维模型

Fig. 2 3D model of casting with gating system



(a) 充型15%

(b) 充型30%

(c) 充型45%

(d) 充型60%

(e) 充型75%

(f) 充型95%

图3 减速器箱盖充型过程

Fig. 3 Filling process of reducer cover

充型时,裹气缺陷容易产生在凸台面。因此,根据气相运动轨迹图,在砂箱的设计中可以在凸台面设置排气孔或者冒口,从而将缺陷转移至冒口处。

2.2 凝固过程模拟与分析

除纯金属和共晶合金外,凝固过程中在铸件的断面上一一般都存在三个区域,即固相区、凝固区和液相区^[13]。铸件的质量与凝固区域有密切关系。如图5为减速器箱盖凝固过程的模拟图。在凝固前期,减速器盖的侧面薄壁部位降温较快,如图5a、b的标识区域所示。由于薄壁部位凝固潜热少,导致温度较低。减

速器箱盖上端凸台面为最后充型部位,凝固量达到70%时在凸台面存在孤立液相区,如图5c的标识区域所示。这些孤立液相区容易汇聚杂质、气体和残渣,也是引起缩孔缩松的主要区域。同时从图5c、d所示的温度场分布可知,减速器盖的箱顶弧面及侧面薄壁部分均已凝固,而靠近箱盖结合面的厚壁部位凝固较慢。这表明减速器箱盖顶部凸台面是最后收缩区域,为缩孔与缩松的易发区与集中区。基于镁熔体凝固过程中合金的温度场模拟分析结果,在砂箱的设计中可以在凸台面设置冒口,实现缺陷从凸台转移至冒口处。

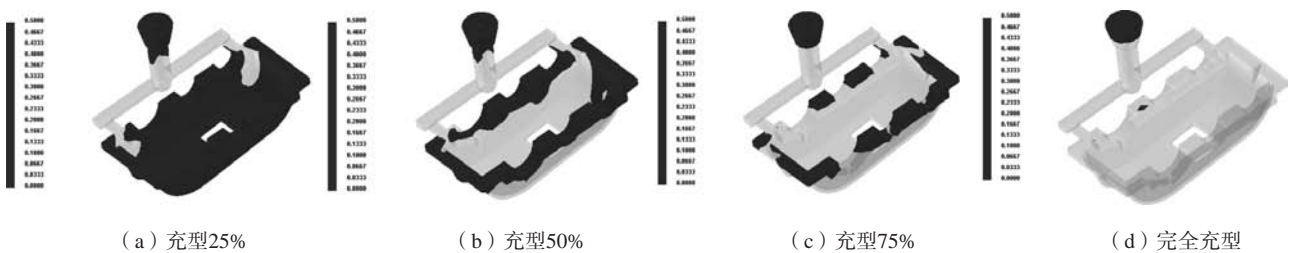


图4 气相运动轨迹图

Fig. 4 Gas phase motion map

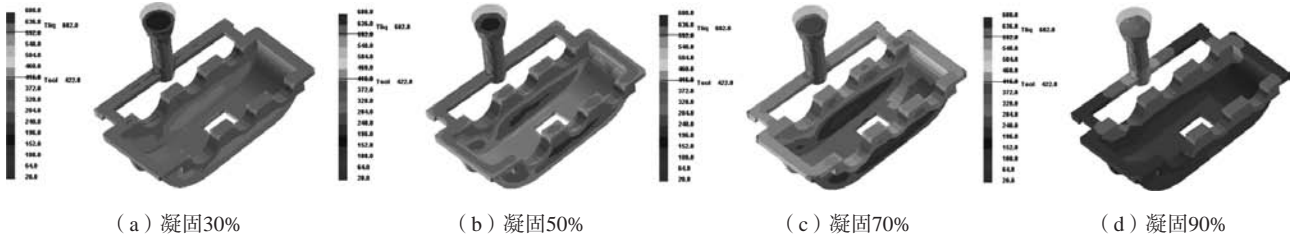


图5 减速器箱盖凝固过程

Fig. 5 Solidification process of reducer cover

3 浇注系统的改进及模拟分析

基于减速器箱盖的铸造充型温度场与凝固温度场的模拟分析结果,在充型前期镁熔液快速进入型腔,再由型腔底部缓慢冲到铸件的凸台面,从而引起充型流场不稳定与时间场的无序化。因此,原铸造工艺方案在箱盖结合面存在不同程度的缩孔缺陷。基于上述浇注系统的不合理情况,本研究在箱盖上端凸台面设计了冒口。

箱盖上端凸台面作为最后充型部位,此处存在孤立液相区,也是缩孔缩松容易产生的区域。为了延长凝固时间,需要在上端凸台面设置冒口,便于自补缩末端区向冒口方向的顺序凝固梯度,保证冒口对铸件的补缩。常用的冒口类型主要有顶冒口、暗冒口及侧冒口等^[14-16]。本设计基于铸件结构特点选择顶冒口,且在每个铸件顶部增设8个矩形顶冒口,如图6所示。铸件冒口重量可根据经验比例法(式1)计算。

$$a = \frac{G_L}{G_L + G_r + G_g} \times 100\% \quad (1)$$

式中: a 为工艺出品率,镁合金铸件要求为75%; G_L 为铸件的重量; G_r 为冒口的重量; G_g 为浇注系统的重量;计算后冒口的重量为0.8 kg。

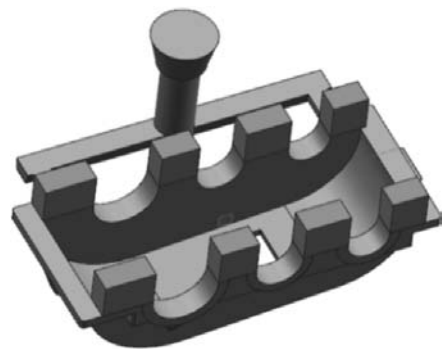


图6 带冒口的铸件三维图

Fig. 6 3D illustration of casting with risers

冒口尺寸可根据热节圆的直径 (d_y) 进行计算, 一般可参考以下公式。

$$B = (1.8 \sim 2.0) d_y \quad (2)$$

$$A = (1.5 \sim 1.8) B \quad (3)$$

$$L = 4d_y \quad (4)$$

式中: B 为冒口宽; A 为冒口长; L 为冒口补缩距离。

采用相同的设计参数对加装冒口的铸件进行模拟分析, 充型过程如图7所示。充型前期镁熔体快速进入箱盖底端, 流动状态平稳, 并未发现紊流缺陷(图7a-

c)。随后镁熔体自下而上充型, 顺序充满整个箱盖上端的凸台面与冒口。整个充型过程相对流畅平稳, 有效避免了卷气缺陷。此外, 镁熔体的流动模式属于自下而上的充型, 充型速度平缓规律, 并未发现热节的出现, 进一步减少了铸造缺陷。

由于冒口的存在, 导致铸件的凝固时间延长, 整个铸件的凝固时间变为20 min。图8为浇注系统改进后铸件的凝固过程模拟结果。从温度场可知, 减速器箱盖铸件在侧面薄壁部位温度降低比较快(图8a)。随

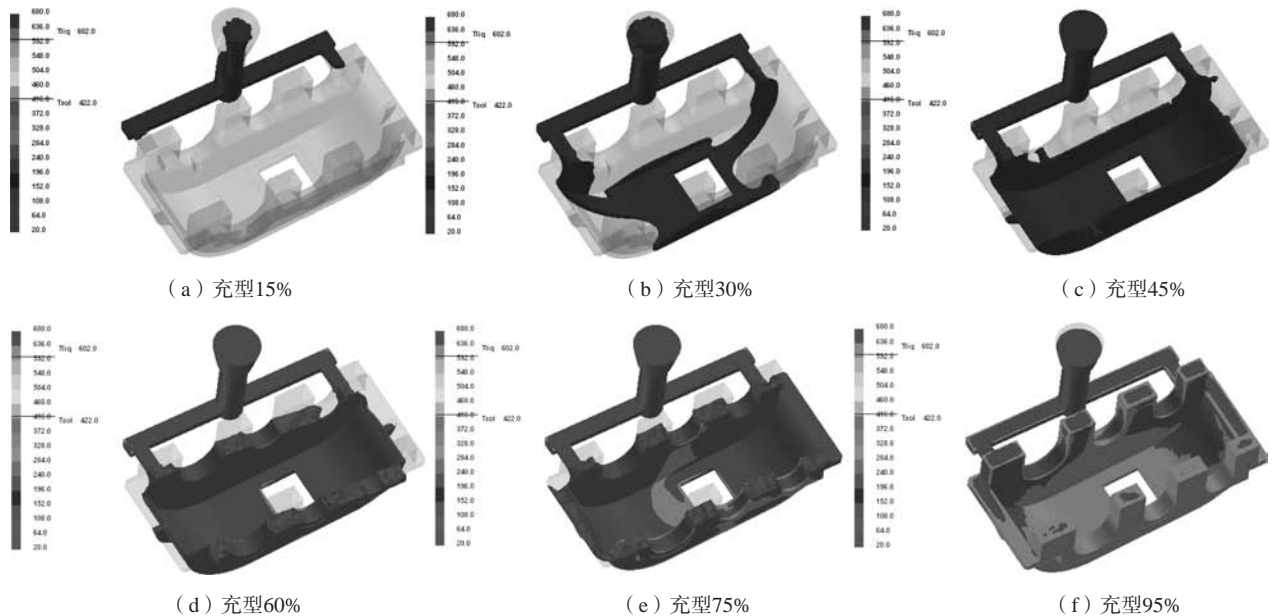


图7 铸造工艺优化后减速器箱盖充型过程

Fig. 7 Filling process of reducer cover after optimization of casting process

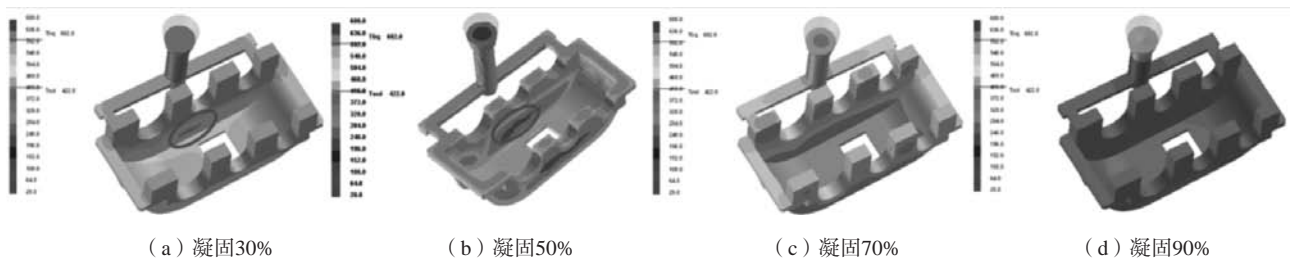


图8 铸造工艺优化后减速器箱盖凝固过程

Fig. 8 Solidification process of reducer cover after optimization of casting process

后逐渐向铸件底部, 也就是壁厚较小的位置转移, 如图8b所示。相较于原浇注工艺, 加冒口铸件的孤立液相区得到明显控制, 从而减少了缩松缩孔的产生(图8c)。图8d显示温度场由箱盖低端至冒口阶梯分布, 有助于铸件顺序凝固, 保证铸件质量。冒口作为最后的充型部位, 可使气体从型腔内部转移至冒口附近, 从而起到排渣、除气的作用。此外, 铸件冒口的设计有助于熔体补缩。

从凝固过程温度场可知, 最后的凝固位置均在箱盖上端的冒口附近。基于ProCast模拟结果, 图9为缩松



图9 铸件缺陷位置

Fig. 9 Distribution of casting defects

缩孔可能出现的位置。由图可知铸件的缩孔位置均在冒口内,表明减速器箱盖本体的质量得到了保障。综上所述,改进后的铸造工艺方案规避了原方案缺点,避免了缩松缩孔的发生,保证了铸件的成品率。

4 结束语

对减速器箱盖的砂型铸造工艺进行了模拟分析,按原铸造工艺模拟凝固过程时在箱盖 upper 端容易出现多个独立液相区,导致该区域出现大量缩松缩孔。根据孤立液相区的体积、表面积等信息,在原铸件的凸台面设计了8个冒口。温度场模拟结果可知,改进方案中充型过程平稳,温度梯度分布合理,实现了顺序凝固,有效避免了铸件缩松缩孔的出现,保证了铸件的质量。合理布置的冒口起到了转移铸件缺陷的作用。改进方案中缩松缩孔主要集中于冒口附近,起到了排气、集渣作用,降低了铸造缺陷发生在铸件本体的概率。

参考文献:

- [1] 陈涛. 品牌因素驱动下的减速器箱体造型方法研究 [D]. 河南: 中原工学院, 2015.
- [2] 苗喜荣. 减速器箱体箱盖三维造型及工艺规程设计 [J]. 现代制造技术与装备, 2015 (6): 27-29.
- [3] 孙治国. ProCAST软件在铸造模拟中的应用 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17 (20): 77-79.
- [4] 王春欢, 胡红军, 罗静. 基于Procast软件的熔模铸造计算机模拟 [J]. 铸造技术, 2007, 28 (10): 1360-1362.
- [5] 白猛, 苏勇, 王丹. 叉车转向桥铸件的铸造工艺优化 [J]. 现代铸铁, 2017, 37 (2): 65-68.
- [6] 鲁瑞轩, 何斌锋. 基于模拟技术的球墨铸铁件铸造工艺优化 [J]. 金属加工 (热加工), 2013 (21): 84-86.
- [7] 杨小冬. 疏浚泥泵泵体砂型铸造数值模拟及工艺优化 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2016.
- [8] 代志功, 毕俊喜. 基于ProCAST的泵体底座低压铸造工艺分析 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (13): 84-86.
- [9] 陈敏, 丁旭, 沈刚, 等. 铝合金平板件铸造工艺模拟及优化 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (13): 94-96.
- [10] 范家建, 李杨. 消失模铸造浇注系统的设计原则 [J]. 现代铸铁, 2018, 38 (2): 71-75.
- [11] 孙晶莹. 大型超临界C12A阀体新型浇注系统设计与工艺优化模拟 [D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2015.
- [12] 曾健, 王家弟, 卢晨, 等. UG II 和PROCAST之间的图形数据交换研究 [J]. 铸造, 1999 (12): 11-14.
- [13] 李建峰. A357合金凝固特性及其充填规律的研究 [D]. 陕西: 西北工业大学, 2006.
- [14] 李智, 毛哲, 李伟. 基于粒子群算法的冒口优化设计 [J]. 铸造, 2005 (2): 176-178.
- [15] 卢景秀. 基于均衡凝固技术的熔模精密铸件浇冒口设计方法研究 [D]. 河北: 河北科技大学, 2018.
- [16] 魏鹏程. 基于孤立液相区的铸钢件冒口优化设计 [D]. 湖北: 华中科技大学, 2009.

Simulation Analysis of Sand Casting Process of Automobile Accessory Reducer Cover

GAO Dong-qiang, ZHAI Yan-qing, ZHU Xiao-qian, LI Shao-zhi

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xian 710021, Shaanxi, China)

Abstract:

Taking the AZ91D magnesium alloy automobile accessory reducer cover as the object, the flow field and temperature field in the sand gravity casting process were simulated by using ProCAST numerical simulation software, and the probable area of occurrence of casting defects (such as shrinkage hole and shrinkage porosity) was predicted. Based on the simulation results, eight rectangle risers were added on the convex surface of the casting to prolong the solidification time, thus transferring the defects to the riser positions. By simulation and optimization for casting process, the defects of castings are effectively controlled, which ensures the quality and production efficiency of castings.

Key words:

reducer cover; ProCAST; dispersed shrinkage and shrinkage; riser