

中大型往复泵泵盖铸件的工艺设计及优化

孟伟娜¹, 牛振华¹, 何 雪²

(1. 安阳职业技术学院机电工程学院, 河南安阳 455000; 2. 贵州理工学院工程训练中心, 贵州贵阳 550025)

摘要: 针对中大型往复泵泵盖铸件在生产过程中出现的缩松、缩孔等缺陷, 利用AnyCasting铸造模拟软件对原工艺方案进行了凝固过程的模拟以及缺陷预测。结合缩孔缩松形成机理, 分析了铸件产生缺陷的原因, 并对原工艺方案进行了优化。采用优化后的原工艺方案能获得质量合格的铸件, 但工艺出品率仅为45%。为获得质量合格的铸件, 同时提高铸件工艺出品率, 设计了新的工艺方案, 通过对新工艺方案的模拟优化, 铸件的工艺出品率提高到62%, 达到了节能减材的目的, 提高了企业的生产效益。

关键词: 泵盖铸件; 工艺设计; 工艺优化; 工艺出品率

泵盖是泵的重要组成零件, 起着密封紧固、传送液体和压力以及阻挡灰尘的作用。由于泵盖长期处在高温高压的恶劣环境中, 要求铸件在宏观上不得有缩孔缩松等缺陷; 微观上内部组织致密, 具有良好的致密性。泵盖铸件整体结构较厚大, 且壁厚不均匀, 在铸造过程中易出现缩松缩孔等缺陷^[1]。利用AnyCasting软件对原工艺方案进行凝固过程的模拟及缺陷预测并进行工艺优化, 计算优化后的泵盖铸件工艺出品率为45%, 工艺出品率较低, 企业生产成本增加, 同时也不符合国家“十四五”节能减排的要求^[2-3]。为提高泵盖铸件工艺出品率, 本文设计了新的工艺方案, 通过对新工艺方案的模拟优化, 提高了工艺出品率。

1 铸件结构及材料分析

1.1 铸件结构

泵盖铸件为一回转体圆盘形, 结构基本对称, 铸件外侧分布有14条筋, 法兰外围处360°均布着36个小圆孔, 为确保铸件内部组织的致密性和操作方便性, 小孔不直接铸出, 后续机加工。铸件最大外圆直径为1 480 mm, 高为559 mm, 最大和最小壁厚分别为228 mm和6 mm, 质量约3 200 kg, 其三维模型如图1所示。铸件属于较厚大件, 且壁厚不均匀, 根据技术要求零件做15 MPa水压试验, 30 min内不得有裂开或渗漏现象, 因此要求铸件不得有缩松缩孔等缺陷, 且内部组织应致密。

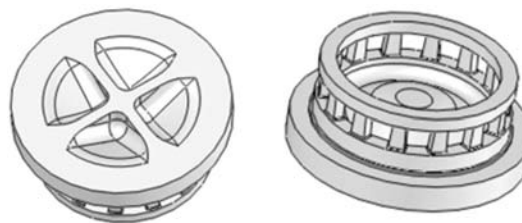


图1 泵盖铸件三维图

Fig.1 3D drawing of pump cover casting

1.2 铸件所用材料

泵盖铸件所用材料为ZG15Cr12, 属于马氏体不锈钢, 标准号为GB/T 2100—

作者简介:

孟伟娜(1990-), 女, 讲师, 硕士, 研究领域为现代制造工艺及装备。E-mail: mengvina@163.com

通讯作者:

牛振华, 男, 副教授, 硕士。E-mail: 84021776@qq.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2024)01-0114-07

基金项目:

2021年度河南省高等教育教学改革研究与实践重点项目(2021SJGLX708); 2020年度安阳市科技发展计划项目。

收稿日期:

2023-04-11 收到初稿,
2023-06-07 收到修订稿。

2017, 化学成分(质量分数%)见表1所示。ZG15Cr12合金含有C、Cr、Si等化学元素,在铸造凝固过程中存在体收缩,若铸造工艺不合理,铸件易产生缩孔缩松等缺陷。

表1 ZG15Cr12合金的化学成分
Table 1 The chemical composition of ZG15Cr12 alloy
w_B /%

C	Si	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S
≤0.15	≤0.8	11.5~13.5	≤0.8	≤0.5	≤1.0	≤0.035	≤0.025

2 原工艺方案设计及优化

2.1 原工艺方案设计

泵盖铸件采用砂型铸造,模样选用木模,砂型和砂芯为树脂砂,型腔和型芯的表面涂刷水基涂料,型板和砂箱的尺寸分别为2 100 mm × 2 100 mm和2 000 mm × 2 000 mm。铸件采用自下而上的顺序凝固方式,选用顶注式浇注系统。浇注系统由1条直浇道、1条横浇道和3条内浇道组成,直浇道直径为90 mm;横浇道65 mm × 80 mm × 75 mm;内浇道30 mm × 45 mm × 45 mm,横浇道和内浇道的横截面均为梯形。铸件法兰面上设置有4个形状尺寸相同的腰形明顶冒口(1#腰形冒口),冒口尺寸为460 mm × 160 mm × 630 mm;法兰中心处放置着1个圆柱形保温明顶冒口(2#圆柱形冒口),尺寸为170 mm × 210 mm × 410 mm,保温套厚度为25 mm。由于铸件下端壁厚较大,凝固时冷却较慢,为实现自下而上的顺序凝固,下端面部需要添加冷铁形成激冷末端,在铸件下端面部设置了14个形状尺寸相同的外冷铁,尺寸为R300 mm × 100 mm × 60 mm,每个外冷铁的位置对应于铸件外侧壁的每条筋,工艺方案如图2所示。

口),冒口尺寸为460 mm × 160 mm × 630 mm;法兰中心处放置着1个圆柱形保温明顶冒口(2#圆柱形冒口),尺寸为170 mm × 210 mm × 410 mm,保温套厚度为25 mm。由于铸件下端壁厚较大,凝固时冷却较慢,为实现自下而上的顺序凝固,下端面部需要添加冷铁形成激冷末端,在铸件下端面部设置了14个形状尺寸相同的外冷铁,尺寸为R300 mm × 100 mm × 60 mm,每个外冷铁的位置对应于铸件外侧壁的每条筋,工艺方案如图2所示。

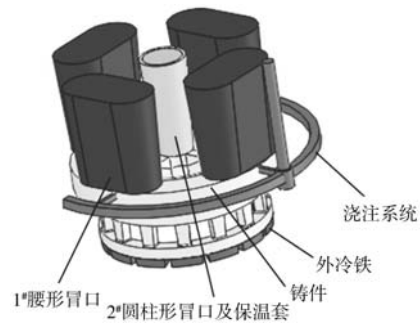


图2 泵盖铸件原工艺方案

Fig. 2 Original process plan of pump cover casting

2.2 原工艺方案凝固过程分析及缺陷预测

图3所示是铸件凝固状态图。由模拟过程可看出铸

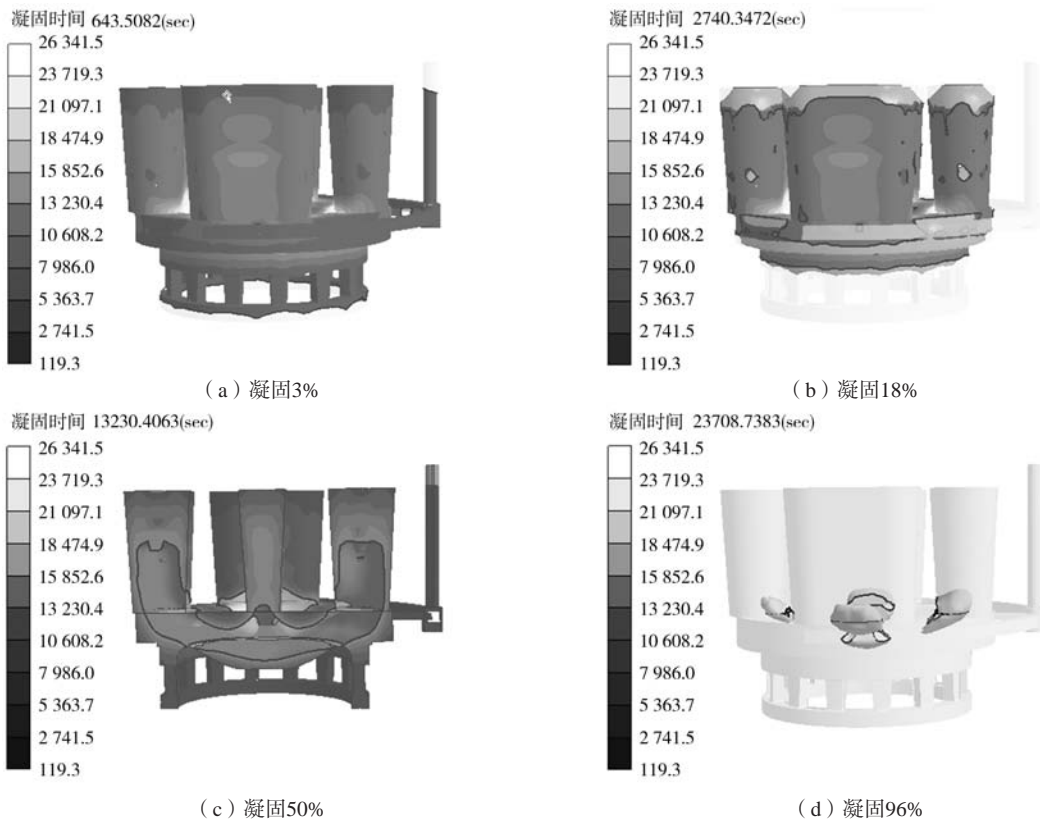


图3 原工艺方案凝固过程

Fig. 3 The solidification process of original process plan

件基本实现了自下而上的顺序凝固。从图3a可看出,铸件下端面和直浇道顶部已凝固,这是由于铸件下端面放有冷铁,在此处形成了激冷端,以及直浇道顶部温度较低,故先凝固。随着铸件不断的凝固,由图3b可知浇注系统已完全凝固,使得铸件和冒口以及浇注系统成为一个封闭的系统,铸件厚大处来源于冒口的补缩。图3c所示的凝固剖面图显示,铸件法兰中间的凸台和法兰面处存在热节。由图3d可知,铸件法兰中间的圆柱形明冒口先于铸件凸台热节部位凝固,致使铸件法兰中间热节部位得不到金属液的充足补缩,因此极有可能会在该部位产生缩孔缩松缺陷;铸件法兰上的4个腰形明冒口先于铸件法兰热节部位凝固,同样没有得到冒口的补缩,导致铸件法兰面内有5处孤立液相区并致使这些热节部位最后凝固。

图4所示是泵盖铸件基于残余熔体模数的概率缺陷参数图,铸件中间凸台的厚大部位和法兰面上存在缩松缩孔缺陷。

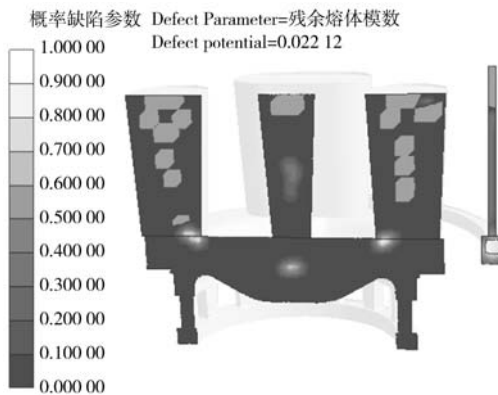


图4 原工艺方案概率缺陷参数图

Fig. 4 Probability defects parameter diagram of original process plan

2.3 原工艺方案缺陷分析

原工艺方案是在泵盖铸件法兰位于十字架处设置4个腰形明冒口和法兰中间设置1个圆柱形保温明冒口,从原工艺方案的模拟结果可知,由于铸件法兰热节部位壁厚较大形成局部过热区域以及设计的冒口模数小于铸件模数,从而导致冒口先于铸件热节部位凝固,使得冒口内没有充足的金属液给予铸件热节部位^[4]。在原工艺方案中,铸件法兰中间部位尽管设置了1个保温冒口,但还是不能满足热节补缩的需要,致使铸件上的保温冒口先于铸件凝固。

2.4 原工艺方案优化

针对原工艺方案中出现的缩松缩孔缺陷,结合缩松缩孔形成规律,对原工艺方案进行如下优化:①加强明顶冒口的补缩效果。铸件法兰上4个腰形明顶冒口的位置不变(1#腰形冒口),但增大尺寸为480 mm ×

170 mm × 690 mm;铸件法兰中间圆柱形明顶保温冒口改为发热保温冒口(2#圆柱形冒口)。②增强冷铁的激冷效果,在铸件中间空腔处的凸台上放置1个随形冷铁,尺寸为R224 mm × 30 mm。优化后的原工艺方案如图5所示。

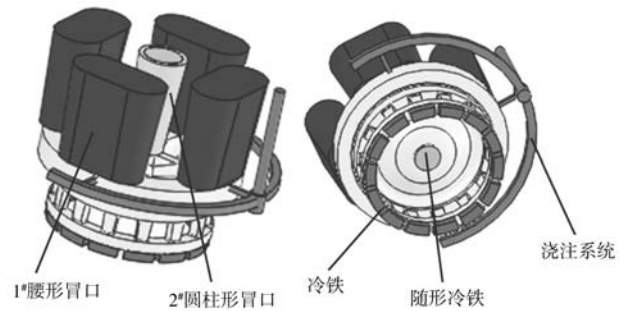


图5 优化后的原工艺方案

Fig. 5 The optimized original process plan

2.5 优化后的原工艺方案凝固过程分析及缺陷预测

优化后原工艺方案的铸件凝固过程如图6所示。由模拟结果可看出铸件整体实现了自下而上的顺序凝固。铸件下端面先凝固,且铸件上没有孤立液相的存在,铸件法兰上的腰形明冒口和保温发热冒口的凝固都晚于铸件的凝固,解决了铸件法兰厚大部位得不到补缩的问题,从而避免了缩松缩孔缺陷的产生。

图7所示是泵盖铸件基于残余熔体模数的概率缺陷参数图,铸件法兰面和中间凸台上的缩松缩孔均转移到了冒口中。可见,经过优化得到了质量合格的铸件。

计算优化后的原工艺方案的工艺出品率为45%,工艺出品率较低,浪费原材料,增加企业生产成本。因此,为提高工艺出品率,对泵盖铸件进行新的工艺方案设计。

3 新工艺方案设计及优化

3.1 新工艺方案设计

新工艺方案同样是采用自下而上的顺序凝固原则,其设计思路为铸件法兰面朝下,浇注位置设置在铸件法兰平面上,采用底注式浇注系统,浇注系统由1个直浇道、1个横浇道和3个内浇道组成,直浇道直径为80 mm,3个内浇道均布在泵盖铸件的法兰底面上。由于泵盖铸件中间空腔处有厚大凸台的热节,由模数法计算得到,在此处设置1个圆柱形的明顶冒口(1#圆柱形冒口),尺寸为300 mm × 400 mm × 550 mm。铸件外侧壁有14条独立的筋且筋壁不厚,浇注液体后,这些筋的部位温度下降较快,筋先于凝固,致使铸件上端面得不到充足的液体补缩,铸件上端面与筋相接处存在热节,导致铸件上端面有缩松缩孔缺陷的产生,因此在铸件上端面均匀安放6个大小相同的腰形明顶冒

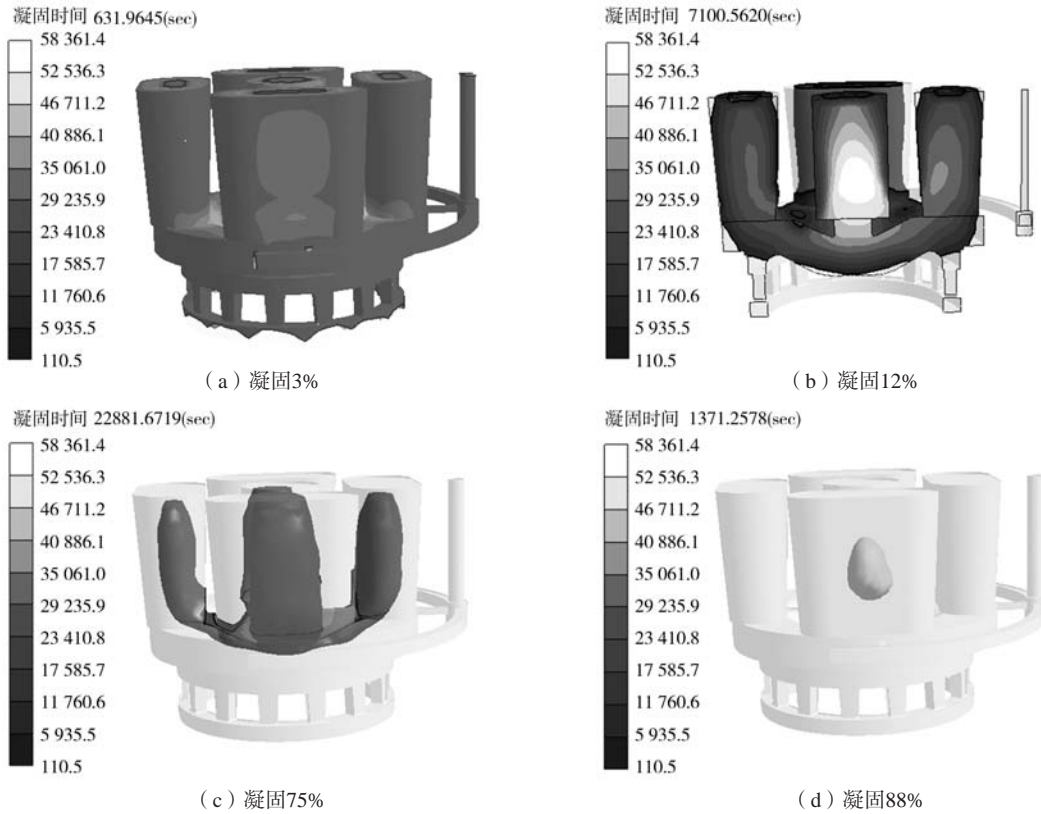


图6 优化后的原工艺方案凝固过程

Fig. 6 The solidification process of optimized original process plan

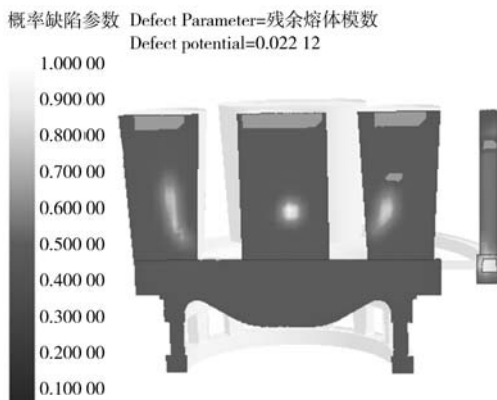


图7 优化后的原工艺方案概率缺陷参数图

Fig. 7 Probability defects parameter diagram of optimized original process plan

口(2[#]腰形冒口), 尺寸为195 mm × 130 mm × 430 mm。在铸件的法兰面上放置6个形状尺寸相同的外冷铁, 尺寸为R400 mm × 210 mm × 150 mm, 外冷铁的设置避开浇注系统内浇道的位置。泵盖铸件的新工艺方案如图8所示。

3.2 新工艺方案凝固过程分析及缺陷预测

图9所示是铸件的凝固模拟状态图。模拟结果显示, 铸件整体实现了自下而上的顺序凝固。从图9a可

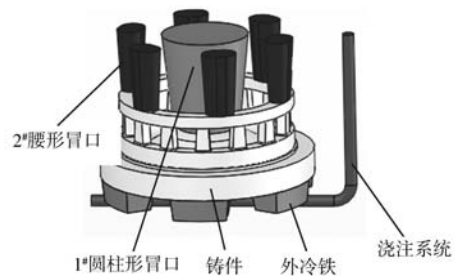


图8 泵盖铸件新工艺方案

Fig. 8 New process plan of pump cover casting

知, 由于铸件直浇道顶部温度较低和铸件法兰放有冷铁, 使该处先于凝固。从图9b可看出, 浇注系统已完全凝固, 使得铸件和冒口以及浇注系统成为一个完整的封闭系统, 铸件厚大部位补缩完全来源于冒口的补缩。图9c显示, 铸件中间空腔凸台处和上端面存在热节。由图9d所示, 铸件的厚大凸台没有得到圆柱形冒口的完全补缩, 导致铸件凸台处有一孤立液相的存在。

图10所示是铸件基于残余熔体模数的概率缺陷参数图, 疏松缩孔缺陷出现在铸件空腔凸台处的厚大部位和铸件上端面。

3.3 新工艺方案缺陷分析

泵盖铸件新工艺方案的设计思路是通过设置冒口

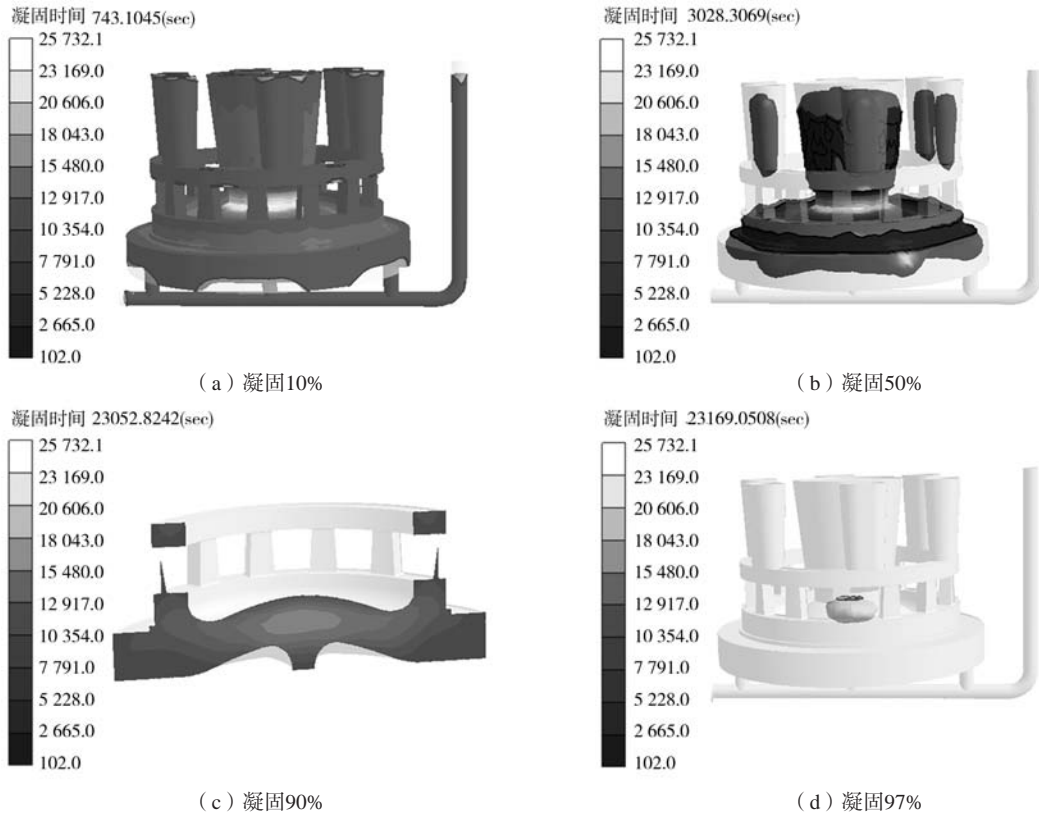


图9 新工艺方案凝固过程

Fig. 9 The solidification process of new process plan

和冷铁来实现理想的温度梯度分布。铸件上端面放置6个腰形明冒口，由于铸件径向尺寸较大，导致铸件上端面没有得到腰形冒口内金属液的足够补缩，产生了缩孔缩松缺陷；铸件中间空腔的厚大凸台，由于该部位热节较大，圆柱形冒口没有提供给铸件充足的金属液补缩，导致该部位也出现了缩孔缩松缺陷。

3.4 新工艺方案优化

结合缩松缩孔形成规律，对新工艺方案进行如下优化：①加强明顶冒口的补缩效果。把铸件中间空

腔凸台处的圆柱形明冒口改为保温冒口（1#圆柱形冒口），根据公式 $M_R=1.2M_c$ 计算出保温冒口的模数，保温冒口厚度为30 mm。②增加冒口数量。铸件上端面的腰型冒口由6个增加为7个（2#腰形冒口），尺寸形状不变，均布。优化后的新工艺方案如图11所示。

3.5 优化后的新工艺方案凝固过程分析及缺陷预测

新工艺方案铸件凝固过程如图12所示。由模拟结果可看出，铸件整体实现了自下而上的顺序凝固。铸件法兰、浇道以及上端面先于凝固，铸件上端面的腰

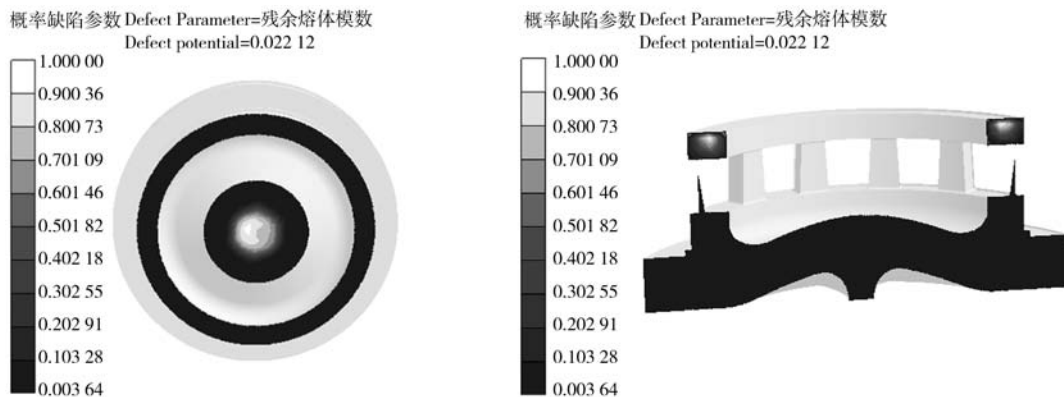


图10 新工艺方案概率缺陷参数图

Fig. 10 Probability defects parameter diagram of new process plan

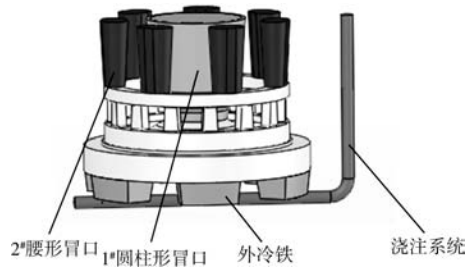


图11 优化后的新工艺方案

Fig. 11 The optimized new process plan

形冒口和铸件中间的保温发热冒口的凝固都晚于铸件凝固，解决了铸件上端面 and 中间凸台厚大部位得不到补缩的问题，从而避免了缩松缩孔缺陷的产生。

图13所示是泵盖铸件基于残余熔体模数的概率缺陷参数图，铸件中间凸台处和上端面的缩孔缩松转移到了冒口中，经过优化得到了质量合格的铸件。

通过计算，优化后新工艺方案的工艺出品率为62%。优化后的原工艺方案和新工艺方案，均能获得质量合格的铸件，但优化后的新工艺方案的工艺出品率

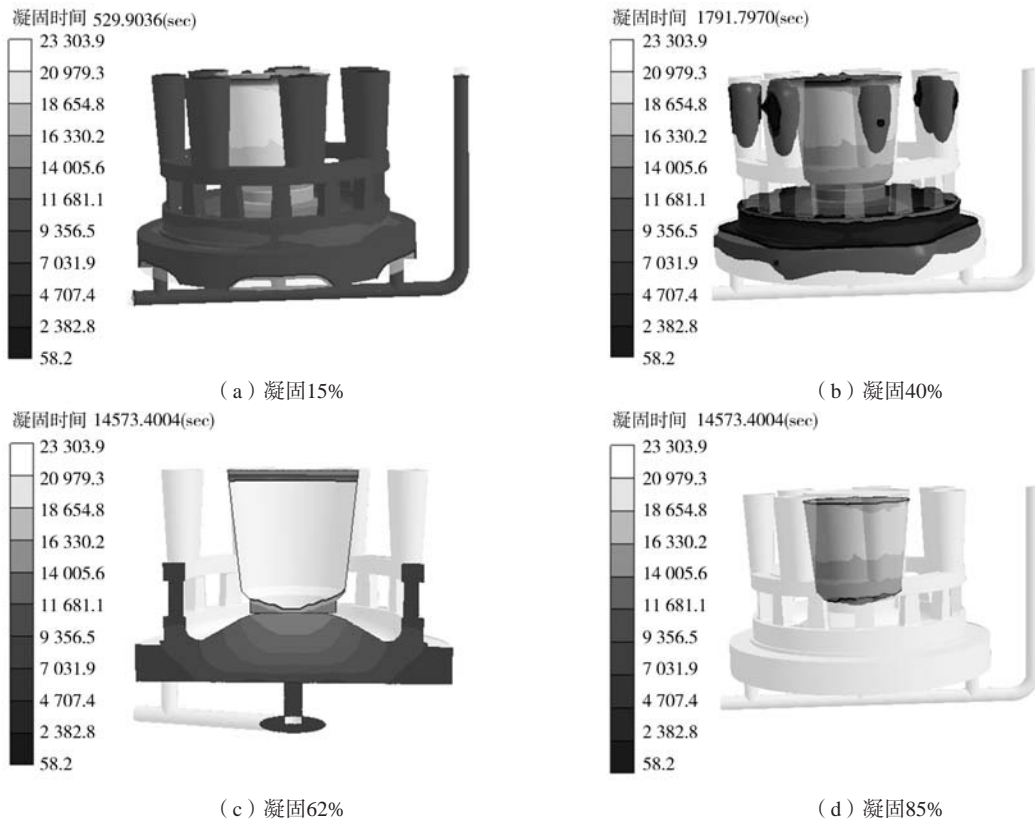


图12 优化后的新工艺方案凝固过程

Fig. 12 The solidification process of optimized new process plan

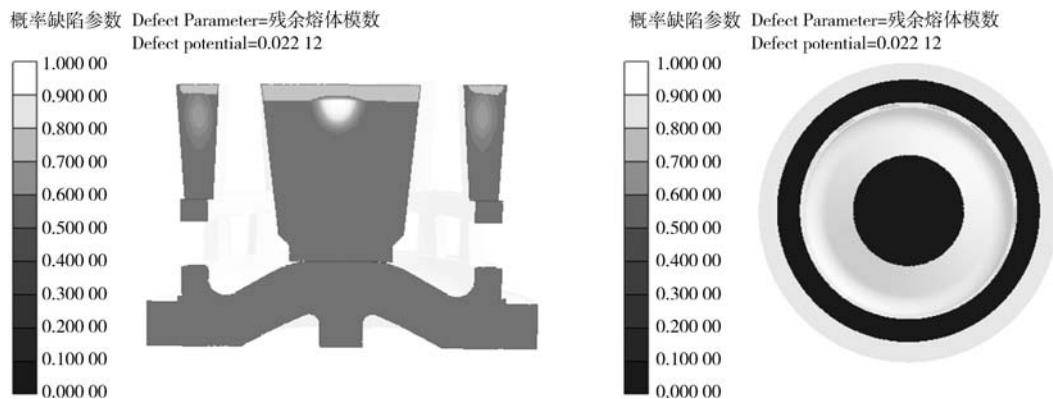


图13 优化后的新工艺方案概率缺陷参数图

Fig. 13 Probability defects parameter diagram of optimized new process plan

比优化后的原工艺方案的提高了17%，减少了材料的浪费，达到了节能减材的目的。

4 企业生产验证

企业运用优化后的新工艺方案进行实际生产，清理后的浇注铸件见图14所示。对零件产品进行了15 MPa的水压试验，结果显示30 min内没有裂开或渗漏现象。

5 结语

通过运用AnyCasting软件对泵盖铸件原工艺方案进行了数值模拟，根据铸件凝固过程的分析和缺陷预测。结合缩松缩孔形成规律，分析了铸件产生缺陷的原因，提出了优化措施，具体为增大腰形明顶冒口尺寸、保温冒口改为发热保温冒口以及增设随形冷铁来增强冷铁的激冷效果，采用优化后的原工艺方案可以得到质量合格的铸件，但其工艺出品率较低，仅为45%。为获得质量合格的铸件，同时提高工艺出品率，对铸件进行了新工艺方案的设计，并进行了凝固过程

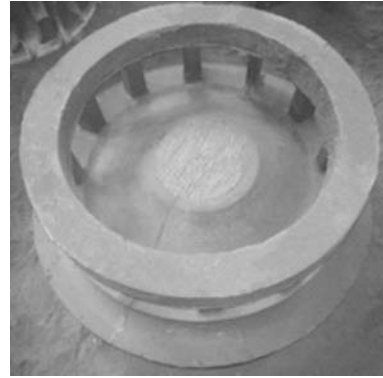


图14 清理后的泵盖铸件

Fig. 14 The pump cover casting after cleaning

的模拟和缺陷预测。通过采用增加腰形冒口数量和铸件凸台处采用保温冒口的措施，铸件缺陷消失，获得了质量合格的铸件，且工艺出品率提高至62%，经企业验证，优化后的新工艺方案可行。

参考文献:

- [1] 周传龙, 何强, 周宏根, 等. 基于ProCAST的柴油机活塞铸造工艺模拟及优化 [J]. 铸造, 2022, 71 (5): 632-636.
- [2] 张省, 王金营. 国务院印发《“十四五”节能减排综合工作方案》 [J]. 河北经贸大学学报, 2022, 43 (5): 45-56.
- [3] 马升, 魏海东, 牛立群, 等. 提升摇臂壳体铸件工艺出品率的Magma模拟研究 [J]. 铸造技术, 2018, 39 (8): 1724-1725.
- [4] 王君卿. 铸造手册: 第5卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

Design and Optimization of Casting Process for Medium and Large Reciprocating Pump Cover Casting

MENG Wei-na¹, NIU Zhen-hua¹, HE Xue²

(1. College of Mechanical Engineering, Anyang Vocational and Technical College, Anyang 455000, Henan, China; 2. Engineering Training Centre, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract:

In view of the defects such as shrinkage cavity and shrinkage porosity appeared in production process of Medium and Large pump cover casting, the solidification process and defects prediction were simulated of the original process scheme by using AnyCasting software. Combined with shrinkage cavity and porosity formation mechanism, the causes of defects in casting were analyzed, then the original process scheme was optimized. The casting with qualified quality can be obtained by using the optimized original process scheme, but the process yield was lower as 45%. In order to obtain qualified castings and improve the casting process yield, a new process plan was designed. Through the simulation and optimization of the new process plan, the casting process yield was increased to 62%, which achieved the purpose of energy saving and material reduction and improved the production efficiency of the enterprise.

Key words:

pump cover casting; process design; process optimization; process yield