

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.10.009

# 大型双相不锈钢叶轮铸造工艺设计和数值模拟及优化

韩亚斌, 郑 霏, 王林苑

(洛阳双瑞特种装备有限公司, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**通过对大型薄壁叶轮的铸造工艺难点进行分析,采用三维软件绘制,利用模拟软件对铸造工艺优化设计,对双相不锈钢叶轮铸造生产过程进行了数值模拟研究。结果表明,通过分析可能产生铸造缺陷的位置及类型,优化铸造工艺并进行了数值模拟计算,实现了虚拟试铸,可以有效地改善热节状态,达到消除和控制缺陷的目的,使铸件能够达到质量要求。

**关键词:**大型薄壁叶轮铸件;双相不锈钢;数值模拟;工艺设计

中图分类号: TG269

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)10-0873-04

## Casting Process, Numerical Simulation and Optimization of Large Thin-walled Duplex Stainless Steel Impeller

HAN Yabin, ZHENG Fei, WANG Linyuan

(Luoyang Sunrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471000, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the casting process difficulties of large thin-wall impeller, the casting process was optimized by using 3D software and simulation software, and the casting process of dual-phase stainless steel impeller was numerically simulated. The results show that by analyzing the location and type of casting defects, optimizing the casting process and carrying out numerical simulation calculation, virtual trial casting can effectively improve the hot spot state, achieve the purpose of eliminating and controlling the defects, and make the casting meet the quality requirements.

**Key words:** large thin-walled impeller; duplex stainless-steel casting; numerical simulation; process design

大型双相不锈钢叶轮铸件主要体现在整体外形尺寸大,通常大于 500 mm;“薄壁”则指铸件的平均壁厚小,一般小于 10 mm。并且工件内壁常布置有纵横交错的加强筋和凸台,使其结构更加复杂,进一步增加了制造难度。由于铸件结构复杂,易产生气孔、冷隔、缩孔缩松、变形和尺寸超差等缺陷,铸件合格率较低。本文作者针对某外贸客户的双相不锈钢叶轮铸件订单,设计了新的铸造工艺,利用数值模拟技术对铸件的充型和凝固过程进行了分析;根据模拟结果分析铸件的凝固顺序和缺陷分布规律,进一步改进铸造工艺,从而获得了理想的铸件产品。

## 1 铸件结构特征

大型薄壁不锈钢叶轮铸件的材料为 ASTM

A890 3A 双相不锈钢,其三维模型如图 1。该铸件由上盖板、下盖板、叶片和中间轮毂组成,上盖板外径约为 1 150 mm,下盖板外径约为 850 mm,平均壁厚为 10 mm,在上下盖板上均匀分布着放射状的 10 mm 高的筋板。如图 2,叶片共 12 片,形状不规则,最薄的位置为 3 mm,最厚的位置为 9 mm,中间轮毂外径 180 mm,周围有 6 个减重孔减轻重量。该铸件属于典型的大型薄壁件,铸件体积 0.029 mm<sup>3</sup>,



图 1 大型薄壁叶轮三维模型  
Fig.1 3D model of the large thin-walled impeller

收稿日期:2021-05-25

作者简介:韩亚斌(1991—),河南平顶山人,硕士,助理工程师。

主要从事特种钢、不锈钢砂型铸造方面的工作。

电话:13673392149, Email:Eljahan1991@163.com

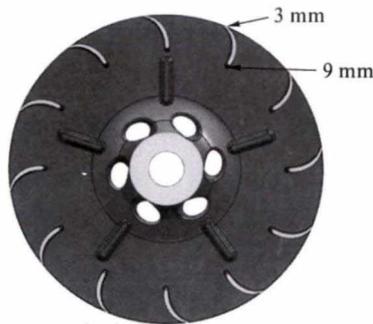


图2 大型薄壁叶轮叶片的厚度

Fig.2 Thickness of large thin-walled impeller blades

质量约为 230 kg。

## 2 铸造工艺设计

根据图 1、图 2 所示的大型薄壁叶轮的结构特征分析可知,在铸造过程中叶片和筋板收缩受阻易产生较大的应力出现裂纹缺陷,加之叶片太薄不易形成顺序凝固,补缩困难,易产生缩松、缩孔缺陷;铸件结构复杂,体型大,壁厚不均匀,钢液充型困难,紊流严重,易产生飞溅及氧化夹渣缺陷;而且 3A 双相不锈钢在砂型中缓慢冷却时易析出相等金属间化合物脆性相,受收缩应力和热应力的影响铸件易产生裂纹缺陷。且该铸件属于小批量生产,结合现场技术条件,采用底注工艺较为合适<sup>[1-2]</sup>。

该铸件在浇注过程中最大的问题是解决铸件的充型问题。为了使金属液充型完整,获得组织致密的铸件,使钢液更加均匀的进入型腔,采用环形横浇道底注式缝隙内浇道浇注系统,在大盖板和小盖板上放置足够的冒口,实现铸件自下而上的顺序凝固,以保证铸件充分补缩。根据开放式浇注系统的设计准则,设计出如图 3 所示的浇冒口系统。



图3 叶轮铸件及浇冒口系统三维模型

Fig.3 3D model of impeller casting and gating and feeding system

## 3 数值模拟与结果

3A 双相不锈钢的浇注温度为 1 530 ℃,砂型材料为呋喃树脂砂,设置好铸件与砂型之间的换热系数等关键边界条件,在铸造模拟软件建立大型薄壁

铸件的模型,对充型和凝固过程进行模拟分析,以验证工艺方案的可行性,并根据模拟结果进一步改进工艺参数。

### 3.1 充型模拟结果

通过数值模拟可获得充型过程不同时刻的速度场、压力场和温度场,以及充型时间等模拟结果。具体的充型时间结果如图 4,由图可知,整个铸件完全充满需 39.6 s。由图 4 中云图分布状态可以看出,金属液充满环形横浇道需要 8.49 s,充型前期自由液面稳步均匀升高,但充型末期自由液面呈锯齿状。



图4 铸件的充型时间

Fig.4 Filling time of the casting

铸件充型过程不同充满度时的速度场模拟结果如图 5。与图 5 各充满度相对应的温度场结果如图 6。由图 5 可知,当充满度为 65%和 75%时,自由液面处的速度为 0.18~0.41 m/s;当充满度为 85%和 95%时,自由液面处的速度为 0.17~0.24 m/s。由图 6 可知,当充满度为 65%和 75%时,自由液面处的温度大于 1 494 ℃;当充满度为 85%时,自由液面处的温度降至 1 463 ℃左右;当充满度为 95%时,自由液面处的温度降至 1 425 ℃以下。

综合分析图 4~6 的模拟结果可知,充型刚开始时,金属液通过缝隙式内浇道进入铸件型腔,此时的金属液热量损失少,流动性好,金属液充型平稳,自由液面均匀升高。随着充型高度的增加,金属液散热加快,温度随之降低而粘度增加,特别是叶片之间的部位,降温最明显,流动性也最差,此处的自由液面上升速度相应变慢,因此在充型末期,自由液面呈现出锯齿状,使得铸件最上端圆周不同部位的充型时间存在一定差异<sup>[3]</sup>。

### 3.2 凝固模拟结果

通过数值模拟可以得到凝固过程铸件的温度场和各种凝固判据。热模数的计算公式为:

$$M=V/A \quad (1)$$

式中, $M$  为热模数,cm; $V$  为体积,cm<sup>3</sup>; $A$  为散热表面积,cm<sup>2</sup>。

对于大型薄壁铸件,由于壁厚小,散热表面积大,使得整体热模数较低,因此在铸造工艺设计中应

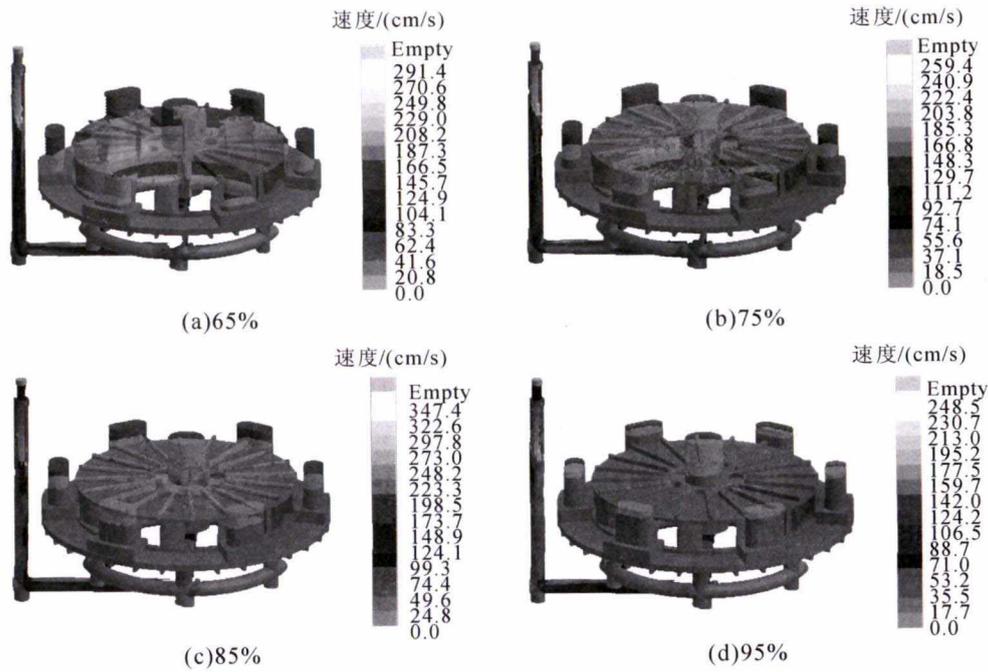


图5 铸件不同充满度时的速度场  
Fig.5 Velocity field of castings at different filling degree

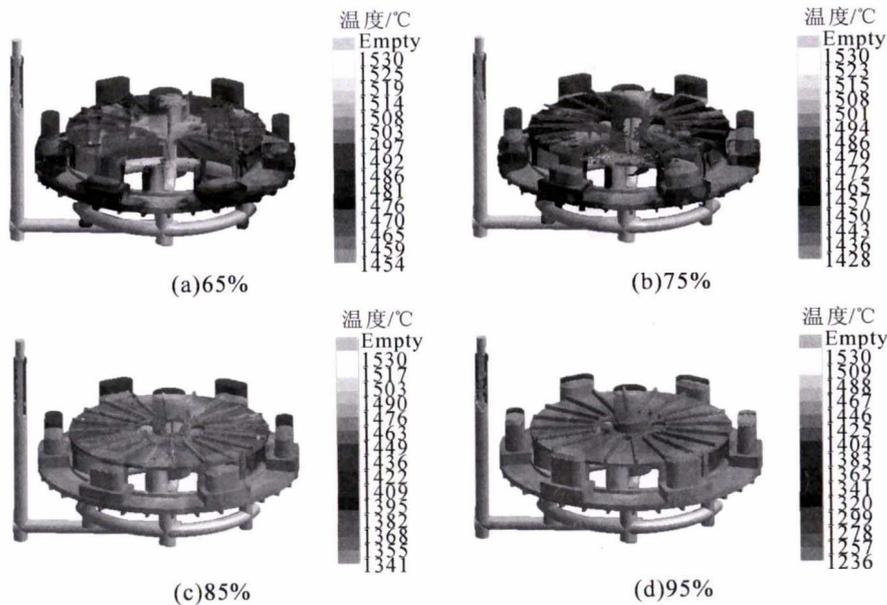


图6 铸件不同充满度时的温度场  
Fig.6 Temperature field of casting at different filling degree



图7 叶轮铸件模拟的缩孔缩松缺陷  
Fig.7 Simulated shrinkage hole and porosity defects in the impeller casting

铸件的缩孔缩松模拟结果如图7。由图可知,尺寸较大的缩孔缩松主要位于环形横浇道内,但也有几个尺寸较大的缺陷位于铸件凸台位置。根据该模拟结果,在凸台出现缺陷的相应位置增设外冷铁,提高凸台部位冷却速度,以避免缩孔缩松缺陷。

由上述分析可知,位于上部筋板连接部位,补缩效果最差。根据模拟结果和分析,对铸造工艺进行了改进,确定了合理的铸造工艺方案。在此基础上,在铸造现场进行投产并试制成功,实际生产的铸件如图8。

充分考虑铸件的补缩问题。



图 8 生产的叶轮铸件  
Fig.8 The produced impeller castings

#### 4 结论

采用数值模拟技术,对大型薄壁叶轮的铸造过

程进行了模拟,薄壁大型叶轮铸件采用环形浇道底注式雨淋浇注系统能够保证充型平稳。根据凝固模拟结果,设置合理的浇注充型速度和浇注时间,能够保证钢液具有合适的上升状态。通过设置冷铁、冒口等改变热节方式改进了铸造工艺凝固顺序,确定出合理的工艺方案,为实际生产提供了理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 李弘英, 赵成志. 铸造工艺技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 李荣德, 米国发. 铸造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 柳百成, 荆涛, 等. 铸造工程的模拟仿真与质量控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

## 诚聘英才

大风起兮“梦”飞扬,安得猛“士”兮守四方!

只要你有梦想,有才华,有担当,尊龙就能给你翱翔的广阔天空!

青岛尊龙耐火材料有限公司是专业服务于铸造业的知名生产厂商。是中国铸造协会授予的“中国铸造用耐火材料生产基地”和“全国铸造材料金鼎奖(酸性炉衬料)”荣誉称号的唯一获得者。根据业务发展需要,面向全国范围诚聘以下销售管理人材:

### 大区经理 5 名

岗位简述:

- 1.省际范围的业务开发、维护及本区域销售团队的建设和管理
  - 2.对本区域销售指标和的完成和利润情况负总责
- 薪资:底薪 + 提成 + 区域总利润绩效(含职务补贴)

### 服务中心经理 4 名(男女不限)

岗位简述:

- 1.服务中心人、财、物全面管理和调配
- 2.负责开发、服务、维护中心所辖区域内的所有客户
- 3.对公司下达的销售和利润指标负总责

区域范围:以服务中心为圆心,半径 100 公里的圆形范围

薪资:准承包制(底薪 + 提成 + 中心利润分红)

### 任职资格

诚信正直、公正担当,事业心和责任心强。28-45 岁,本科以上学历;六年以上销售工作经验,三年以上销售团队管理经验;同时具备营销策划、渠道拓展、领导团队等能力;能够创建并培育一支向心力强、骁勇善战的销售、服务队伍。

### 联系方式

王女士:15165227137 吕 总:15215326137

公司地址:青岛胶州市北关工业园山东道 50 号