工艺技术 Technology ● DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.06.007

不锈钢薄壁回转体浇注工艺研究

孙福臻 1,2,3, 王化乔 1,2,3, 吕海泳 4, 曲文峰 1,2,3

(1.北京机科国创轻量化科学研究院有限公司,北京100083;2. 国家轻量化材料成形技术及装备创新中心,北京100083;3. 先进成形技术与装备国家重点实验室,北京100083;4. 烟台市能源综合执法支队,山东烟台264003)

摘 要:以生产单件 304 不锈钢薄壁回转体铸件为研究对象,在第一次浇注试验过程中,回转体铸件侧壁发生了开裂现象,通过对开裂缺陷产生的原因进行分析,对铸件的浇注系统设计进行改进后,利用 ProCAST 铸造模拟软件对不锈钢回转体无模铸造工艺的充型、凝固过程及缩松、缩孔缺陷分布进行模拟分析,并按照分析后的结果进行了无模铸造的试验验证,侧壁开裂问题得到解决。

关键词:不锈钢薄壁回转体;无模铸造;铸造模拟

中图分类号: TG269

文章编号:1000-8365(2020)06-0533-04

Research on Pouring Technology of Stainless Steel Thin-walled Rotary Body

SUN Fuzhen^{1,2,3}, WANG Huaqiao^{1,2,3}, LYU Haiyong⁴, QU Wenfeng^{1,2,3}

(1.Beijing National Innovation Institute of Lightweight ltd, Beijing 100083, China; 2.National Innovation Center for Light Weight Material Forming Technology & Equipment, Beijing 100083, China; 3.State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment, Beijing 100083, China; 4. Yantai Energy Comprehensive Law Enforcement Detachment, Yantai 264003, China)

Abstract: Taking the production of a single piece of 304 stainless steel thin-walled rotary body casting as a research object, during the first casting test, cracks occurred on the side wall of the rotating body casting. By analyzing the causes of cracking defects, the casting system was designed. After the improvement, ProCAST casting simulation software was used to simulate the filling, solidification process, and shrinkage and shrinkage hole defect distribution of the casting process without pattern of the stainless steel thin-walled rotary body, and the test verification by casting without pattern was performed according to the analyzed results. Cracking of sidewalls was resolved.

Key words: stainless steel thin-walled rotary body; casting without pattern; casting simulation

文献标识码:A

数字化无模铸造精密成形技术是在 CAD 模型 驱动下,直接采用数字化无模铸造精密成形机切削 砂坯,经过高速的粗精加工获得可以直接进行浇注 的砂型和砂芯,进而得到铸件的一种快速制造技 术^[1-3]。由于利用三维 CAD 模型直接驱动铸型制造, 抛弃了传统的木模或金属模等模具,数字化无模铸 造精密成形技术使铸造流程缩短,开发时间缩短了 50%~80%,其加工费用仅为传统有模铸造方法的 1/10 左右,相应地使制造成本降低了 30%~50%,是 一种无模化、精密化、智能化、绿色化的先进制造 技术^[46]。

收稿日期: 2020-03-31

基金项目:工业和信息化部 2018 年绿色制造系统集成项目《轮 胎模具绿色制造关键工艺技术和装备突破及集成应 用项目》

作者简介:孙福臻(1983-),山东高密人,高级工程师.主要从事 先进成形工艺方面的工作.电话:0535-5521088, E-mail:sfz523@163.com 薄壁铸件是铸造技术的发展方向,是产品轻量 化发展的前提。在汽车、航空、航天、电子等领域实现 铸件、特别是轻合金铸件的薄壁化具有重大的意义^[7]。

某不锈钢薄壁回转体零件如图 1, 该零件外形 轮廓尺寸为 φ690 mm×240 mm, 侧壁由一个壁厚为 6 mm 的半球面和一个 8 mm 的圆柱面构成, 顶部由 厚度为 12 mm 的圆环和 4 个连接筋构成, 属于较大 的薄壁回转体铸钢件。不锈钢金属液具有熔点高, 流 动性差, 收缩大, 易氧化的特点, 而且夹杂物对铸件 力学性能影响严重。由此可以看出, 在铸造过程中



图 1 不锈钢薄壁回转体三维模型 Fig.1 3D model of stainless steel thin-walled rotary body

容易出现冷隔,对钢液的浇注温度和浇注速度有较高的要求。

1 浇注系统设计

1.1 铸件侧壁开裂缺陷特征及形成原因

采用如图 2 所示浇注系统进行浇注,所得铸件 侧壁产生开裂现象,其开裂位置位于冒口正下方呈 竖直状态如图 3 所示,裂纹表面近似黑色失去金属 光泽,属于典型的铸钢件热裂纹。分析出现开裂的 原因其一是液体金属浇入到铸型后,热量散失主要 是通过型壁,凝固从铸件表面开始。当凝固后期出 现大量的枝晶并搭接成完整的骨架,固态收缩开始 产生,枝晶骨架的收缩受到砂型或砂芯等的阻碍 时,不能自由收缩就会产生拉应力,导致侧壁开裂 产生。开裂的原因其二是冒口附近温度较高,冷却 缓慢,侧壁较薄没有实现顺序凝固,导致侧壁开裂 产生⁸。



图 2 浇注工艺设计 Fig.2 Pouring system design



图 3 侧壁开裂现象 Fig.3 Side wall cracking

1.2 浇注系统改进设计

根据开裂产生的原因分析,决定对回转体铸件 侧壁增加加强筋,圆环与侧壁连接的拐角处增加肋 筋过度,减少热节点数量,修改浇注系统设计,避开 冒口对侧壁凝固顺序的影响。设计如图4所示的底 注式开放型浇注系统。为使金属液分配均匀且流程 最短,将直浇道置于铸件中心,底部设置了6个呈 放射状的内浇道,直浇道、内浇道的截面积比为1: 1.5 保证金属液呈充满式流动形态平稳的充满型 腔。在铸件顶部圆环与侧壁连接部位设置了4个



图 4 改进后的浇注工艺设计 Fig.4 Improved pouring system design

 ϕ 60 mm×80 mm 的冒口,保证了金属液对铸件的充分补缩。

2 铸造过程的数值模拟与分析

在 UG 软件中完成对回转体铸件的浇注工艺设计 完成后,利用 UG 中的布尔运算反求出无模铸造砂型 模型,之后导出.x_t 格式的无模铸造砂型文件,将文件 导入 ProCAST2016.0 软件中进行铸造过程模拟。

2.1 无模铸型模拟参数赋值

通过软件 Mesh 模块对无模铸型与铸件进行面 网格与体网格的划分。在面网格划分设置时,铸件的 单元格尺寸值取 10,无模铸型的单元格尺寸值取 30,这样既能对增加铸件数值模拟的准确性,又能提 高模拟的运算效率。

在 Cast 模块中设置无模铸型的初始温度为 25 ℃,金属液浇注温度 1 550 ℃,铸件--铸型传热 系数为 500 W/(m²·K),充型时间经公式(1)计算 为 8 s,无模铸型的散热条件为空冷,并运行计算。使 用 Viewer 模块查看和分析计算模拟结果^[9]。

$$\tau = A^{m} n \tag{1}$$

式中, τ 为浇注时间,s;A、n为系数;M为浇注金属质量, kg_{\circ} 。

2.2 铸件充型过程模拟

不锈钢金属液在重力作用下首先充满直浇道与 内浇道,如图 5 所示在 1.4 s 时,所有的直浇道与内 浇道被金属液充满,开始进入无模铸型的型腔,回转 体侧壁型腔内的金属液平稳上升。8 s 时回转体铸件 型腔被充满,铸件底部边缘位置温度开始下降。9.5 s 时,整个无模铸型被充满,充型过程完成。充型过程 模拟结果表明,该铸件的浇注系统设计能够保证不 锈钢金属液在无模铸型内自下而上平稳充型,同时 金属也流动顺畅,充型平稳。

2.3 铸件凝固过程模拟及缺陷预测

铸件在充满型后,14.1 s时,铸件侧壁顶部最先 开始凝固如图 5,随着时间的推移,凝固过程自上而 下,在与内浇道接触的部位最后凝固,在 304 s时,



图 5 充型过程 Fig.5 Filling process

回转体铸件完全凝固如图 6。模拟结果表明,铸件侧 壁顶端最先凝固,冒口凝固较慢,保证了对侧壁的 充分补缩,侧壁的底部凝固较慢可能会造成补缩困 难。在 Porosity 模拟显示中各部位数值<6.67%,表 明铸件在凝固过程中出现缩松、缩孔的可能性较小。 缩孔的可能性较小(见图 7,图 8)。



图 6 铸件凝固时间 Fig.6 Solidification time of casting

Fraction Solid



图 7 铸件固相分数 Fig.7 Solid fraction of casting

3 无模铸造试验

为了验证铸造系统设计和 ProCAST 数值模拟 的正确性,利用数字化无模铸造成型机对铸型进 行无模加工。首先对无模铸型进行分型,分型过 程中充分考虑型块组装、涂料喷涂、铸型型搬运的 方便化,成型机加工的简易化。无模铸型采用 CAMTC-SMM1500S 型数字化无模铸造成形机进行 Total Shrinkage Porosity(%)



图 8 铸件收缩孔隙度 Fig.8 Shrinkage porosity of casting

数字化加工,无模铸型组合后轮廓尺寸为 805 mm× 800 mm×550 mm,加工用时 28 h。加工完成的铸型 分型快如图 9。



图 9 装配好的不锈钢薄壁回转体砂型 Fig.9 Assembled mold package of the stainless steel thin-walled rotary body

将组合好的无模铸型放入砂箱中,四周用细沙 填实,防止无模铸型发生移动和跑火现象,采用重 力铸造法对无模铸型进行浇注,如图10,所得铸



图 10 浇注的铸型 Fig.10 Poured assembled mold package

件如图11。



图 11 不锈钢薄壁回转体铸件 Fig.11 Casting of the stainless steel thin-walled rotary body

4 试验结果与分析

铸件进行浇注系统切除与表面喷丸处理后如 图 12,对外观进行观察,回转体铸件充型完整,表面 光洁,无浇注不足、冷隔现象等缺陷。对铸件进行 X 射线内部无损检测,结果显示内部质量优良,无缩 孔、缩松缺陷,说明该回转体铸件修改后浇注工艺 设计较为合理。



图 12 抛丸处理后的不锈钢薄壁回转体铸件 Fig.12 Shot blasted stainless steel thin-walled rotary body casting

了凝固过程中自由收缩的抗拉能力。改变冒口位置 设计,使铸件侧壁实现顺序凝固,有效解决冒口附近 温度较高,冷却缓慢,侧壁较薄不能实现顺序凝固, 产生应力致侧壁开裂。

(2)通过 ProCAST 软件对不锈钢回转体铸件无 模铸型的充型、凝固过程及缩孔、缩松缺陷内部情况 进行模拟,钢水的浇注温度为1550℃,充型时间 8s时能够使铸件平稳充型及实现顺序凝固。

参考文献:

- [1] 单忠德. 中国的无模铸造[J]. 铸造技术, 2011, 32 (5): 760-762.
- [2] 单忠德.基于快速原型的金属模具制造工艺研究[D].北京:清华 大学,2002.
- [3] 刘丰,单忠德,李柳,等.大型薄壁壳体件无模铸造技术研究[J].铸造技术,2013,34(10):1324-1326.
- [4] Shan Z D, Liu F, Zhan L, et al. Research on Patternless Casting CNC Manufacturing Technology and Development of the Equipment[J]. Advanced Materials Research, 2010(97-101): 4036-4041.
- [5] 刘丰,单忠德,冯涛,等.汽车发动机零部件无模组装制造技术 研究 //2010 中国铸造活动周论文集[C]. 沈阳:中国机械工程学 会铸造分会,2010:1-4.
- [6] Zhongde Shan, Xiaoli Dong, Feng Liu. Study on manufacturing of Sand Mold by Direct Milling [C]. The 3rd Seminar of Sino-Korea Cooperation on the Advanced Manufacturing Technology. 2008: 165-169.
- [7] 郑亚虹,王自东.复杂薄壁精密铝合金铸件铸造技术进展[J].铸 造,2010(8):796-799.
- [8] 杨曼利,王燕坡,韩伟,等.不锈钢 ZG10Cr14Ni5Mo2 喷油嘴壳 体的精铸工艺[J]. 铸造,2016,65(6): 865-867.
- [9] 孙锦玉,汪东红,董安平,等.基于 ProCAST 的复杂泵体熔模铸造工艺模拟[J]. 热加工工艺,2018,47(23):77-80.

5 结语

(1)通过改变铸件浇注方向,增加加强筋,增强



《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。 共8章: 1、关于锰钢生 产技术; 2、球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术; 3、抗磨产品生产技术; 4、锤头生产技术; 5、消失 模、V法生产技术; 6、典型铸件的生产技术; 7、还原罐生产技术; 8、关于企业管理。全书22万 字。特快专递邮购价: 98元。

邮购咨询: 李巧凤 电话/传真: 029-83222071