

增材制造技术在不锈钢叶轮生产中的试用

张帅强¹, 张 勇², 杨永辉¹, 叶书亮¹, 王志博¹

(1. 洛阳易普特智能科技有限公司, 河南洛阳 471000; 2. 珠海格力电器股份有限公司, 广东珠海 519000)

摘要: 介绍了某型不锈钢叶轮的结构及技术要求, 浇注系统的设计过程。采用反重力真空吸铸浇注工艺, 保证叶片较薄部位完整充型, 采用3DP打印技术组芯造型, 原砂使用70/140目硅砂, 涂料使用流涂方式。铸件浇注后, 叶片充型良好, 尺寸满足要求, 整体符合验收标准。

关键词: 3D打印; 薄壁件; 不锈钢叶轮; 真空吸铸; 反重力

3D打印又称增材制造, 通过数字化的方式增加材料来构造物体, 3D打印技术是制造业领域迅速发展的一项新兴技术, 被称为“具有工业革命意义的制造技术”^[1]。3DP (Three Dimensional Printing) 即三维粉末粘接技术, 其工作原理是先铺一层粉末, 然后喷嘴将粘接剂喷射到成形区域, 让粉末相互粘接, 形成零件截面。然后不断重复铺粉和喷粘接剂, 层层叠加, 最终打印出所需的零件。

铸造砂型3D打印技术打破了传统铸造过程中模具制造、造型、制芯的概念, 实现了无模具铸造及数字化制造, 突破了使用模具造型及制芯时对型/芯结构的限制, 可实现复杂砂型/芯的整体精确化制备^[2-3]。利用数字化的方式驱动铸造模具设计, 对铸件砂型结构进行拓扑优化, 在减少型砂用量的同时, 可调节铸件的冷却和凝固条件, 提高生产效率, 减少铸件的应力, 尤其适用于航空、航天、汽车、军工等多种、小批量以及非定型产品的研制与生产^[4]。叶轮由于其特殊的结构, 使用传统木模生产时, 尺寸精度无法保证, 同时交货周期比较长, 3D打印可完美契合单件小批量复杂铸件的研发与生产。

1 叶轮介绍及技术要求

本次生产的叶轮铸件如图1, 材质304不锈钢, 毛坯重量24 kg, 最大外圆直径300 mm, 高度196 mm, 叶片最小壁厚只有2 mm。

叶片两侧对称吸入式交错; 厚度为渐变式; 过流部位尺寸公差按JB/T6879—2008中B级要求执行; 铸件不允许有冷隔、粘砂、裂纹、气孔、夹渣、缩孔等铸造缺陷。

2 铸造工艺方案的确定

该叶轮客户要求材质304不锈钢, 304不锈钢密度为7.93 g/cm³, 广泛地用于制

作者简介:

张帅强(1988-), 男, 铸造工程师, 主要从事铸铁铸造工艺、3DP砂型打印相关工作。电话: 13663025120, E-mail: 805278709@qq.com

中图分类号: TG142.71
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2022)07-0911-04

收稿日期:

2021-11-29 收到初稿,
2022-01-08 收到修订稿。

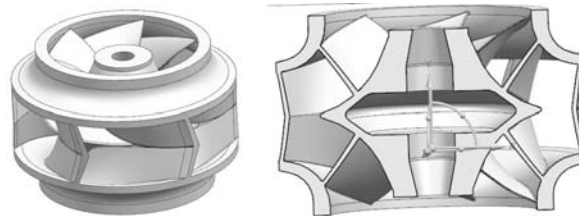


图1 叶轮铸件图

Fig. 1 Drawing of the impeller rough casting

作要求良好综合性能（耐腐蚀和成形性）的设备和机件。但是材料铸造性能不良，在铸造过程中易产生疏松、裂纹和夹渣等铸造缺陷。为保证铸件的成品率，



采用真空负压浇注的方式生产该型不锈钢叶轮。

铸件最小壁厚为2 mm，壁厚较薄，利用UG软件进行壁厚分析，如图2所示，叶轮铸件结构较为复杂。

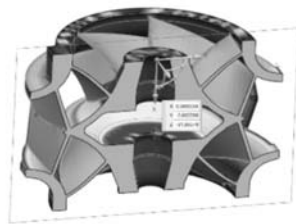


图2 铸件壁厚分析

Fig. 2 Analysis of the wall thickness of the casting

该铸件的浇注系统设计原则如下：

采用底注方式，保证钢液的平稳充型，同时利用横浇道对于叶轮底部端面进行补缩，顶部采用溢流及补缩冒口排气及补缩。

根据铸件毛坯的结构特点，此次采用真空负压浇注即真空吸铸的方式进行浇注。浇注系统采用底部反雨淋式，开设6个内浇口，叶轮顶部厚大部位放置6块成形冷铁，冷铁材质为HT250，模型上预留打印出冷铁位置，成形冷铁使用3D打印成形冷铁模进行浇注，顶部设置8个暗冒口，如图3所示。

以上，根据浇注系统与铸件的结构特点，如图4所示，此次砂型定位采用的是每层3个定位圆柱凸台，3D打印精度高、间隙小，可以保证合型精度及稳定性，砂型总共设计4个分型面，每块砂型都有设计的扣手方便合箱搬运，以方便清砂、容易刷涂料、方便运输合箱为原则设计砂型。铸件毛坯重量为24 kg，设计砂型吃砂量为40 mm，在保证吃砂量前提下，尽可能地减少砂型体积，即减重、减少3D打印用砂量及打印时间提高设备效率。

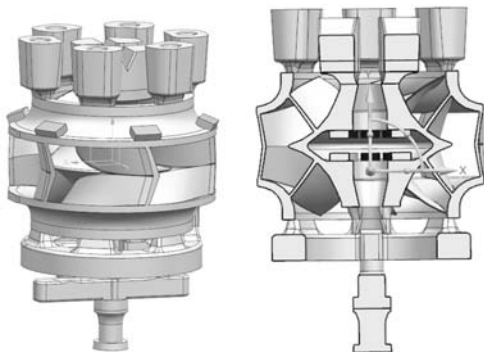


图3 铸造工艺图

Fig. 3 Drawing of the casting process

用真空负压从底部浇注具有充型平稳、对型芯冲击力小、便于排气、浇注过程中钢液温度波动小、浇注温度可调可控、产品质量稳定等优点。通过调整合适浇注温度与压力参数，提高金属液充型与补缩能力，有效解决耐热钢、不锈钢等铸造中常见的冷隔、浇不足、气孔、缩松等问题。

3 3D砂型打印方案的确定

本次铸件毛坯材质为304不锈钢，砂型采用的是呋喃树脂+固化剂，使用70/140目硅砂，SiO₂含量在99.5%

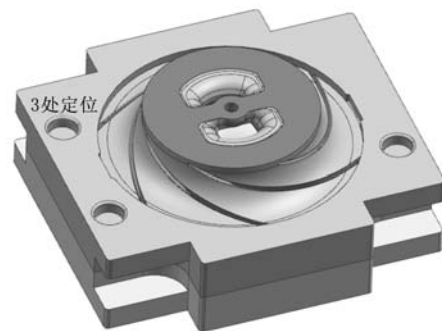


图4 砂型定位槽

Fig. 4 Positioning groove of the sand mold

该叶轮结构为双吸叶轮，叶轮流道砂芯使用传统模具铸造需要拆成多个砂芯，然后再单独下芯，铸件整体精度较差、披缝增加，如果使用3DP打印砂模铸造，可以实现叶轮流道砂芯整体打印，不需多个芯子拼接，可大幅度提高铸件精度，缩短叶轮的试制周期，砂型尺寸精度可控制在 ± 0.3 mm以内。合型后在分型面四周用封箱膏密封，然后放在专用低压浇注机上将砂型用工装固定（图5）。

陀螺砂芯预打印留出冷铁位置（图6），使用 $\Phi 25$ mm \times 20 mm圆钢8块，均布激冷。

涂料：铸钢浇注温度高，为减小铸件粘砂倾向，采用醇基锆英粉涂料进行流涂，需刷2遍铸钢专用涂

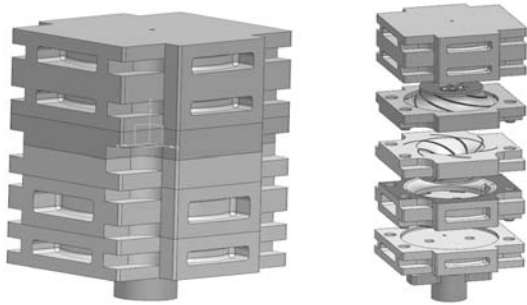


图5 合型与爆炸图

Fig. 5 Mold assembly and exploded views



图6 陀螺砂芯示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the gyro sand core

料, 保证铸件表面质量, 涂层控制在0.3 mm左右, 然后放入烘干窑内, 温度设定在100~150 ℃, 持续时间1~3 h。

4 铸件浇注

本次砂型浇注有配套的真空负压浇注工装卡具, 将砂型固定后进行浇注。由于叶片最薄壁厚仅为2 mm, 因此浇注温度设定为1 620 ℃, 压力设置为0.25 MPa, 保压2 min。图7为浇注完成后打完箱落砂后的铸件毛坯图, 可以看出, 铸件表面无明显粘砂缺陷, 表面质量良好。浇冒口切割、打磨、抛丸处理后进行尺寸测量与检验, 铸件尺寸公差等级达到了CT9级。图8为打磨抛丸清理后带有部分浇冒口的铸件毛坯图, 尺寸检验合格, 表面粗糙度 Ra 可控制到12.5~25 μm , 满足客户要求。

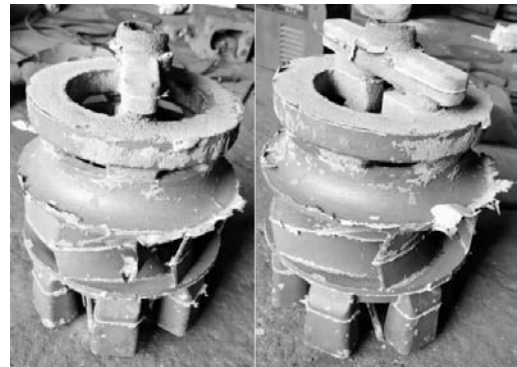


图7 落砂后的铸件

Fig. 7 Casting after shakeout

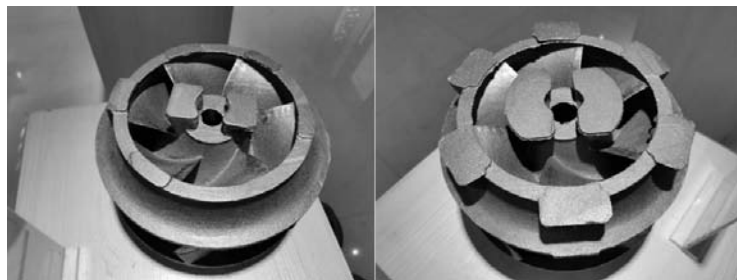


图8 打磨抛丸后的铸件

Fig. 8 Casting after grinding and blasting

5 结论

(1) 3DP打印砂模与真空负压浇注相结合生产不锈钢叶轮, 解决了传统铸造中的起模问题、薄壁叶片充型困难等问题, 消除了重力铸造中的冷隔缺陷, 可实现2 mm壁厚叶片的良好充型。

(2) 整体打印的叶片砂芯, 相比传统模具铸造大幅度提高了叶轮尺寸精度和降低流道粗糙度, 减少了流道沿程损失, 提高了产品质量, 经扫描, 流道内尺寸精度可在 ± 0.3 mm以内。

(3) 3D打印快速制造技术与传统铸造相比, 不仅

降低了铸件成本, 还可快速而精确地制造出任意复杂形状的零件, 无需开模, 实现无模制造, 产生极少废料, 有效缩短了加工周期, 易于实现单件小批量复杂形状产品地快速制造, 在非批量化生产中具有明显的成本和效率优势。该型号叶轮为研发样件, 按照两个铸件计算, 模具费用1.5万, 模具生产周期25天, 使用3D打印费用仅需5 000元左右, 铸件交期7天。3D打印技术利用自身高精度、速度快等特点, 对复杂铸件的开发和研究有着重要的影响。

参考文献:

- [1] 李荣德, 米国发, 荣守范, 等. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] 左强, 杨国娟, 洪润洲, 等. 应用砂型3D打印技术制备复杂铝合金铸件 [J]. 铸造, 2021, 70 (4): 493-497.
- [3] 徐伟业, 陈维平, 金枫, 等. 基于数值模拟和砂型3D打印的机匣整体重力铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2019, 68 (8): 905-910.
- [4] 谭锐, 尹绍奎, 娄延春, 等. 砂型喷墨3D打印用呋喃树脂的制备工艺与性能研究 [J]. 铸造, 2021, 70 (10): 1217-1221.

Application of 3D Printing Technology to Stainless Steel Impeller Production

ZHANG Shuai-qiang¹, ZHANG Yong², YANG Yong-hui¹, YE Shu-liang¹, WANG Zhi-bo¹

(1. Luoyang Easy 3D Printing Technologies Co., Ltd., Luoyang 471000, Henan, China; 2. Gree Electric Appliances, Inc. of Zhuhai 519000, Guangdong, China)

Abstract:

The structure and technical requirements of a stainless steel impeller and the design process of gating system are introduced. The counter gravity suction casting pouring process is adopted to ensure the complete mold filling of the thin part of the impeller. The (three dimensional printing (3DP) technology is used for core modeling. The raw sand is 70 / 140 mesh silica sand, and the coating is flow coated. After casting, the filling of the impeller filling is good, the size meets the requirements, and the whole meets the acceptance standard.

Key words:

3D printing; thin-walled casting; stainless steel impeller; suction casting; counter gravity
