

“红船”青铜艺术品的铸造工艺设计及生产

李赐宇¹ 曾雯雯¹ 邓备月¹ 刘 婧¹ 于伟业² 张 伟¹ 孟祥臣¹ 向青春¹
(1.沈阳工业大学材料科学与工程学院;2.大连博斯特电机有限公司)

摘 要 采用铸造工艺制作完成了具有复杂形状的锡青铜红船艺术品。首先基于红船纪念品样图对锡青铜红船艺术品铸件外观进行总体设计,用 UG 软件对铸件进行三维建模;然后采用顶注开放式浇注系统及冒口,利用 ProCAST 软件分析铸件的充型和凝固过程,以及缩孔、缩松缺陷分布等,确定红船铸件的最终工艺方案;再进行铸型和砂芯的设计,并利用 3D 打印技术制备出砂型及砂芯,最终生产出锡青铜薄壁中空红船艺术品。

关键词 锡青铜;红船艺术品铸件;3D 打印;铸造工艺设计

中图分类号 TG242;G641 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Production of Casting Process for "Red Boat" Bronze Artwork

Li Ciyu¹, Zeng Wenwen¹, Deng Beiyue¹, Liu Jing¹, Yu Weiye², Zhang Wei¹,
Meng Xiangchen¹, Xiang Qingchun¹

(1.School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology;
2. Dalian Bost Electric Machinery Co., Ltd.)

Abstract: A tin bronze red boat artwork with a complex shape was designed and actually produced. Firstly, the appearance of tin bronze red boat artwork was designed based on the master drawing of red boat souvenirs, and the 3D modeling of casting was carried out by the UG software. Then, the top injection gating system and risers were adopted to determine the final casting process scheme of the red boat artwork casting after analyzing the filling process, solidification process, shrinkage and porosity defect distribution by the ProCAST software. Subsequently, the sand molds and sand core were designed and fabricated by the 3D printing to produce the thin-wall hollow tin bronze red boat artwork, which exhibits an exquisite appearance as well as excellent artistic appreciation value and collection value.

Key Words: Tin Bronze, Red Boat Artwork Casting, 3D Printing, Casting Process Design

目前,锡青铜与红船的艺术品有商品可售,但多数材质为实木、水晶或塑料,也有少量红船金属艺术品,但都是由焊接拼装而成,再喷涂着色,整铸式红船金属艺

品较少。
基于现有的红船艺术纪念品,利用 UG 软件,设计出红船艺术铸件的三维模型图,并按铸造工艺性要求进

收稿日期:2022-05-08;**修改稿收到日期:**2022-06-30
基金项目:沈阳工业大学 2021 年大学生创新创业训练计划省级资助项目(S202110142039);沈阳工业大学 2020 年度本科教育教学改革研究重点资助项目(100020238);沈阳工业大学 2020 年专创融合课程建设资助项目(100600056)
第一作者简介:李赐宇,女,1999 年出生,本科生,沈阳(110870),E-mail:2215581568@qq.com
通信作者:向青春,男,1972 年出生,教授,沈阳(110870),E-mail:xiangqchun@yeah.net
引用格式:李赐宇,曾雯雯,邓备月,等.“红船”青铜艺术品的铸造工艺设计及生产[J].特种铸造及有色合金,2023,43(2):280-283.
LI C Y, ZENG W W, DENG B Y, et al. Design and production of casting process for “red boat” bronze artwork[J]. Special Casting & Non-ferrous Alloys, 2023, 43(2):280-283.

件充型完整、轮廓清晰、表面品质好,无缩孔、缩松等明显的铸造缺陷,有效缩短开发周期,提高了生产效率。

参 考 文 献

[1] 吕志刚. 世界熔模精密铸造产业动态——参加 2013 东京精密铸造国际研讨会有感[J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34(1): 70-73.
[2] 朱雪明,童幸生,王风华.基于 DLP-3D 打印的闭式叶轮熔模快速铸造技术研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(11): 1 370-1 374.
[3] 姜耀林,何朝辉,邵中魁.基于 ProCAST 及 3D 打印技术的闭式叶轮

快速铸造技术研究[J].机电工程, 2015, 32(9): 1 166-1 169.
[4] 蓝嘉昕,张文之,梁文海,等. 基于 3D 打印的熔模铸造工艺设计[J]. 热加工工艺, 2020, 49(5): 68-72.
[5] 陈光辉,崔爱红,崔国起. 变速箱壳体 3D 打印熔模铸造工艺分析[J].铸造, 2017, 66(9): 948-951.
[6] 铸造工程师手册编写组. 铸造工程师手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.

(编辑:刘卫)

行创意调整。然后,利用 ProCAST 软件进行铸造工艺设计和优化。之后利用 3D 打印设备,制备出砂型及砂芯,最后用中频感应熔炼设备熔炼锡青铜合金,浇注得到薄壁中空红船金属艺术品。

1 铸件的三维模型及结构特点

红船艺术品三维模型见图 1。材质为锡青铜,轮廓尺寸为 334 mm×66 mm×86 mm,质量约为 4.26 kg,最小壁厚为 4 mm,最大壁厚为 14 mm。该铸件壁厚不均,形状复杂。船的顶部结构均为曲面,错落有致,且各曲面均由多根梁柱支撑;船体内部中空,侧壁既有多个细小孔眼,还有大的开孔;船的最大截面处即甲板本身也为曲面造型。因此用传统的造型和制芯方法生产极其困难,故采用 3D 打印技术打印铸型和砂芯,从而大大简化其铸造工艺。

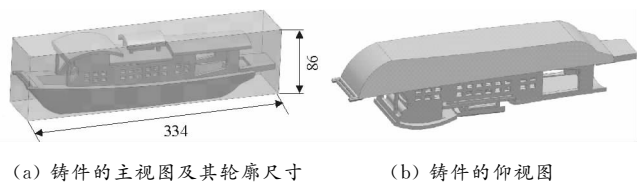


图 1 红船金属艺术品铸件的三维模型图

Fig.1 3D modeling of the red boat metallic artwork casting

2 铸造工艺方案设计

2.1 分型面

采用 3D 打印制备铸型,分型面设置极为简化。根据铸件的复杂结构,为浮砂能从砂型中顺利清除,采用两个铸型,上型包括船身底座,下型包括船身船舱,以船体甲板为分型面。由于红船甲板为曲面,所以铸件采用曲面分型,见图 2。

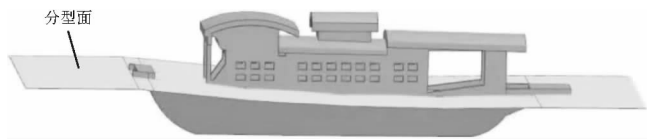


图 2 分型面位置

Fig.2 Position of the parting surface

2.2 浇注位置及浇注系统的设计

采用顶注式两箱造型^[1],为便于冒口的放置以及铸件薄壁部位充型,浇注位置选择在红船铸件底部朝上的位置,有利于铸件实现顺序凝固,同时,船底有大的平面,易于设置冒口。

采用顶注式浇注系统,充型速度快,生产效率高,工艺出品率相对较高^[2];金属充型容易,金属液温度上高下低,自下而上顺序凝固,有利于发挥冒口的作用,可以

防止浇不足和冷隔^[3]等缺陷。因而采用开放顶注浇注系统^[4]。

2.2.1 浇注系统截面比及浇注时间的计算

铸件采用开放式浇注系统,参考青铜合金铸件各组元截面比,选择的浇注系统截面比为 $\Sigma A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1 : 2.7 : 2.7$ 。

浇注时间按经验公式计算如下^[5]:

$$t = s \sqrt{m} \quad (1)$$

式中, t 为浇注时间,s; m 为铸件质量,kg; s 为系数,取决于铸件壁厚。试验中 s 取 1.85,铸件质量为 4.26 kg,代入式(1)得 $t = 4$ s。

2.2.2 各浇道尺寸的确定

直浇道截面面积计算如下:

$$\Sigma A_{直} = \frac{m_1}{0.31 \mu t \sqrt{H_p}} \quad (2)$$

式中, m_1 为浇注金属液总质量,kg; μ 为流量损耗系数; H_p 为静压头高度,cm。

依据实际情况, m_1 取 5.5 kg; μ 取 1.38; t 取 4 s; H_p 取 5 cm。经计算, $\Sigma A_{直} = 1.437 \text{ cm}^2$, $\Sigma A_{横} = 3.88 \text{ cm}^2$, $\Sigma A_{内} = 3.88 \text{ cm}^2$ 。各浇道横截面形状均为正方形,最终设计直浇道尺寸为 12 mm×12 mm,横浇道尺寸为 14 mm×14 mm,内浇道尺寸为 14 mm×14 mm。

2.2.3 冒口的设计

对于锡青铜,冒口直径 $D_R = (1.3 \sim 1.5) d_c$, d_c 为铸件被补缩部位的热节圆直径。根据红船铸件的尺寸, $D_R = 40 \text{ mm}$ 。冒口放置在红船铸件底部中间,对缩松严重的中间部位进行补缩。另外,由于船底平面相对较大,在船底两端各放置了两个 $\phi 5 \text{ mm}$ 的出气冒口,对船底两端相应位置起到一定补缩作用。

红船铸件的浇注工艺三维图见图 3。

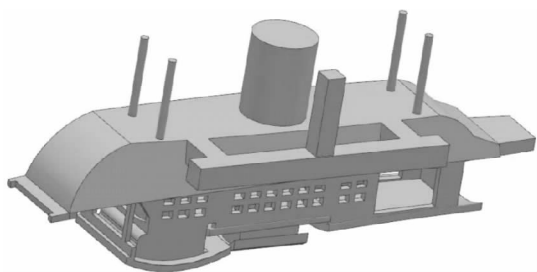


图 3 红船铸件的浇注工艺三维模型图

Fig.3 3D modeling of casting process scheme for red boat casting

2.3 砂芯的设计

为便于成形,设置一块砂芯,砂芯形状和结构见图 4。可以看出,砂芯结构相对比较复杂,还有一些细小的沟槽和突起结构,用传统制芯方法难度极大,因此用 3D

打印技术制备砂芯。砂芯两端设计有芯头,与下型的芯座相配合,起支撑和固定作用。

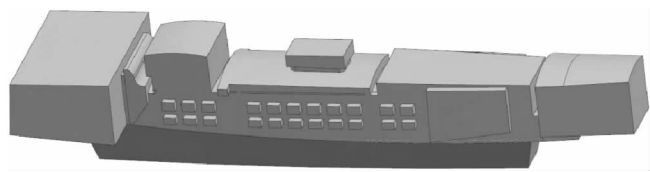


图 4 砂芯
Fig.4 Sand core

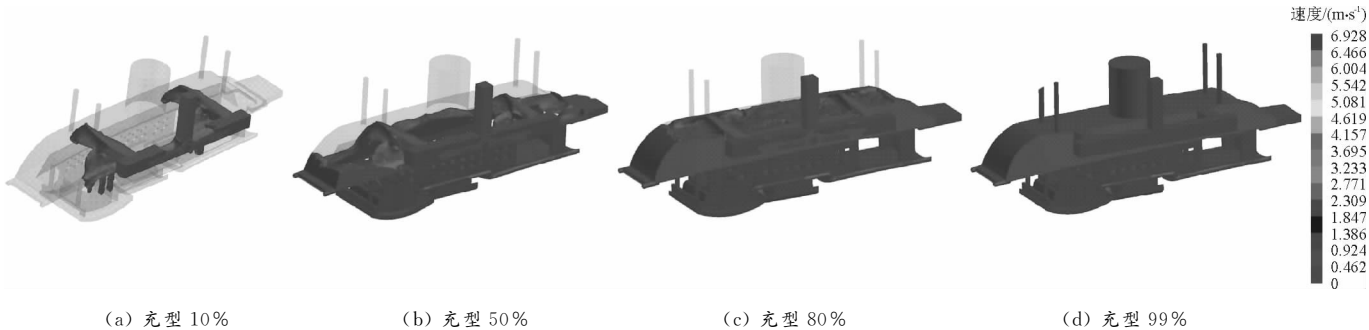


图 5 铸件的充型过程速度场
Fig.5 Velocity fields of the casting during mold filling process

上升,基本无飞溅和卷气。

3.2 凝固过程模拟分析

图 6 为红船铸件凝固不同时间时的温度场模拟结

果。可以看出,船顶部分首先凝固,接着船身和船底位置凝固,冒口最后凝固,符合顺序凝固原则,冒口对整个铸件起到了很好的补缩作用。

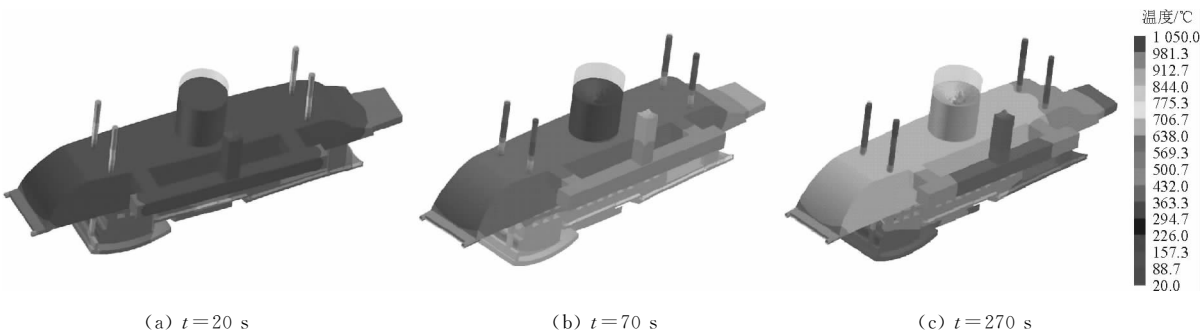


图 6 铸件凝固过程的温度场
Fig.6 Temperature fields of casting during solidification process

3.3 缩孔、缩松缺陷分析

在 ProCAST 软件后处理界面中通过 Shrinkage 命令能够观察到铸件凝固完成后的缩孔、缩松缺陷分布情况,见图 7。可以看出,经多次模拟分析,发现红船铸件的缩孔、缩松缺陷主要集中分布于冒口和浇注系统内,铸件本身没有,冒口能够起到足够的补缩作用。

此铸造工艺方案的工艺出品率为:

工艺出品率 = $\frac{\text{铸件质量}}{\text{浇注金属总质量}} = \frac{4.26}{5.5} \times 100\% = 77\%$

(3)

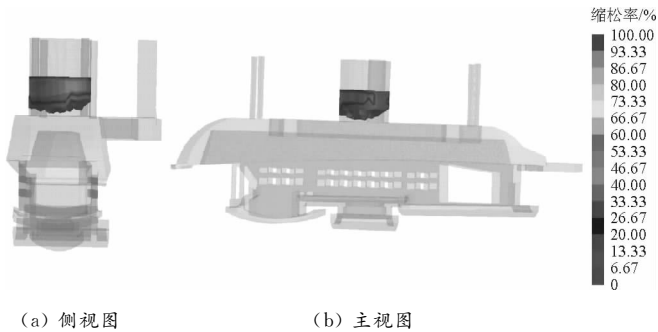


图 7 铸件的缩孔缩松缺陷模拟结果

Fig.7 Simulation results of the shrinkage cavity and porosity defects in the casting

4 铸件的实际生产

4.1 铸型的加工处理

利用 3D 打印技术^[6]制作的砂型及砂芯组型见图 8,采用醇基锆英粉涂料对砂型及砂芯喷涂^[7]。为防止铸件在浇注时产生背压而出现浇不足缺陷^[8],在砂型的分型面处刻划出一些排气道以加强排气效果。浇口杯用树脂砂块由手工制作而成。

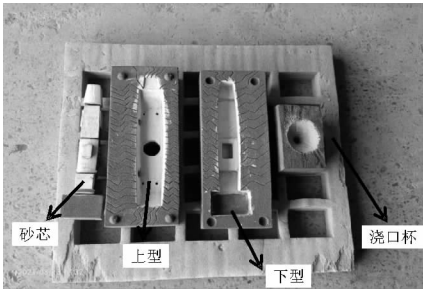


图 8 刷好涂料的砂型、砂芯和浇口杯

Fig.8 Sand molds, sand core and pouring cup after coating

4.2 合金熔炼浇注及铸件

铸件材质为 ZCuSn5Zn5 锡青铜合金。在 UG 软件中将 ZCuSn5Zn5 锡青铜密度设置为 8.84 g/cm^3 ,计算得型内金属液的总质量为 5.5 kg。配料时考虑合金元素有一定烧损,且仅浇注一件,为保险起见,称取 7 kg 原料进行配料并熔炼。将配好的金属原料放入感应炉的坩埚内,浇注温度为 $1\ 150\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ^[9],浇注时不能出现金属液断流。

图 9 为打箱后的铸件。可以看出,铸件整体呈赤棕色,在铸件的分型面处出现了飞边披缝缺陷,其他位置未发现明显缺陷。清理后红船金属艺术品铸件见图 10。



图 9 锡青铜红船铸件

Fig.9 Tin bronze red boat casting

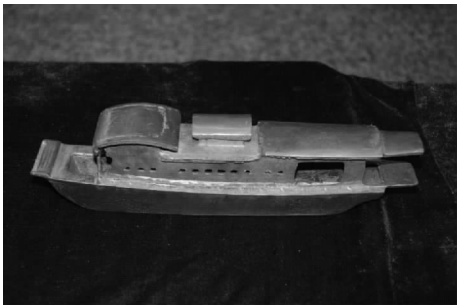


图 10 红船铸件

Fig.10 Produced red boat art casting

5 结 论

(1)采用 3D 打印砂型和砂芯的铸造工艺制备了红船铸件,其美观完整,具有较好的艺术欣赏价值和收藏价值。

(2)通过利用 3D 打印技术制备铸型和砂芯,设计顶注开放式浇注系统,铸造了铸件轮廓尺寸为 $334\text{ mm}\times 66\text{ mm}\times 86\text{ mm}$ 、最小壁厚为 4 mm 的中空红船锡青铜艺术品,铸件的工艺出品率达 77%。

参 考 文 献

[1] 孙欣,刘国学.铸件浇注系统的类型及浇口开设位置的选择[J]. 农机使用与维修, 2012(6): 85.
[2] 陈建华,胡磊,李冰.顶注浇注系统在消失模筒形铸件中的应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(1): 81-83.
[3] 赵新武. 铸铁件冷隔与浇不足缺陷的纠正预防措施[C].第十三届中国铸造协会年会论文集[A].上海, 2017.
[4] 李新亚. 铸造手册-铸造工艺卷(第 3 版)[M].北京:机械工业出版社, 2011.
[5] 刘文川,王兴平,祝举章,等.有色金属铸件有效浇注时间计算公式探讨[J].特种铸造及有色合金, 1999(6): 39-41.
[6] 史家全.3D 打印砂型在铸造中的应用[J]. 现代铸铁, 2020(4): 59-62.
[7] 陈展飞,田秀成,费长正,等.大型铸钢件用醇基锆英粉涂料的研制与应用[J]. 大型铸锻件, 2006(4): 17-19.
[8] 王增强. 倾斜浇注防止焦炉炉门铸件产生浇不足缺陷[J]. 铸造, 2007, 56(5): 540-541.
[9] 张菽浪. 真空感应熔炼简述[J]. 特钢技术, 2019(4): 39-41.

(编辑:刘卫)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com