

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.014

自吸泵铸造工艺模拟研究

刘冬冬¹, 刘克新¹, 任振伟¹, 王林苑¹, 董国栋²

(1. 洛阳双瑞特种装备有限公司, 河南 洛阳 471003; 2. 东营嘉扬精密金属有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要:核电用自吸泵结构复杂, 组织要求致密, 内外表面要求严格, 尤其是内部腔体形成难度极大。从铸造工艺设计、铸造模拟等几个方面探讨了核电用自吸泵铸造工艺设计。结果表明, 可以采用 3D 打印和传统模具制芯相结合的方式获得复杂结构型腔。薄壁件补缩距离短, 需要适当增加冒口数量进行补缩, 配合冷铁可以实现顺序凝固。通过铸造模拟, 优化的铸造工艺方案可行。

关键词:自吸泵; 铸造工艺; 铸造模拟

中图分类号: TG269

文献标志码: A

文章编号: 1000-8365(2021)08-0708-04

Casting Process Simulation of Self-priming Pump

LIU Dongdong¹, LIU Kexin¹, REN Zhenwei¹, WANG Linyuan¹, DONG Guodong²

(1. Luoyang Shuangrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471003, China; 2. Dongying Jiayang Precision Metal Co., Ltd., Dongying 257000, China)

Abstract: Self-priming pump for nuclear power plant has complex structure, compact structure and strict internal and external surface requirements, especially the formation of internal cavity is extremely difficult. The casting process design of self-priming pump for nuclear power was discussed from the aspects of casting process design and casting simulation. The results show that the complex cavity can be obtained by the combination of 3D printing and traditional die core-making. The feeding distance of thin-walled parts is short, so it is necessary to increase the number of risers for feeding. Sequential solidification can be achieved with the combination of chiller. Through casting simulation, the optimized casting process is feasible.

Key words: self-priming pump; casting process; casting simulation

自吸泵的优势或者特点是在泵腔内第一次灌满引液的情况下, 可以直接空转引介质进泵^[1], 避免了因为误操作导致空转烧毁电机的事故, 大大降低了使用风险, 也提升了自吸泵的使用效率。核电用自吸泵结构复杂, 组织要求致密, 内外表面要求严格, 内部腔体狭窄, 补缩、成型难度极大。

本文作者从铸造工艺设计、铸造模拟等几个方面探讨了核电用自吸泵铸造工艺设计, 以期为后续生产提供一些理论依据和实践借鉴。

1 铸件的技术要求

(1) 理化满足 DIN EN10213 - 2016 材料标准 (1.4409)。

(2) 尺寸公差满足 CT10。

(3) 按照 BS EN1370 - 1997 铸造·目视比较仪检查表面粗糙度, 表面粗糙度 $Ra12.5 \mu m$ 。

(4) 出入口、止口法兰 RT 按照 DIN EN12681 - 1 -

2018 铸造·射线检测执行。

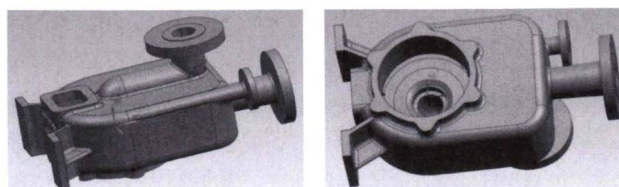
(5) 可及区域 100% PT 按照 EN13371 - 11 - 1998 建筑业轴承·第 11 部分: 运输、储存和安装执行。

(6) 内外壳体分开打压, 无泄漏。

2 铸造工艺设计

2.1 结构分析

自吸泵铸件三维见图 1, 内部腔体形状见图 2。自吸泵为产业部首次承接生产, 铸件结构复杂, 类似两个单级泵组合而成, 外形轮廓最大尺寸 540 mm × 300 mm × 260 mm, 内腔空间狭窄, 给成型和补缩都带来很大的难度, 尤其是内腔不允许开天窗。初步设想砂芯采用 3D 整体打印, 但是整体制出后, 砂芯



(a) 入口方向

(b) 止口方向

图 1 自吸泵外形三维

Fig. 1 The 3D shape of self-priming pump

收稿日期: 2021-03-29

作者简介: 刘冬冬 (1987—), 河南洛阳人, 工程师, 硕士。主要从事不锈钢碱性酚醛树脂砂型铸造方面的工作。

电话: 15036979629, Email: ldd8712@163.com

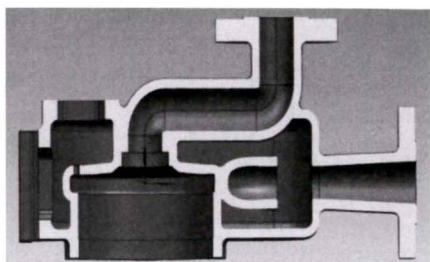
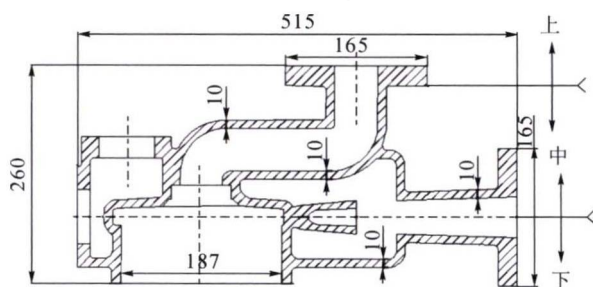


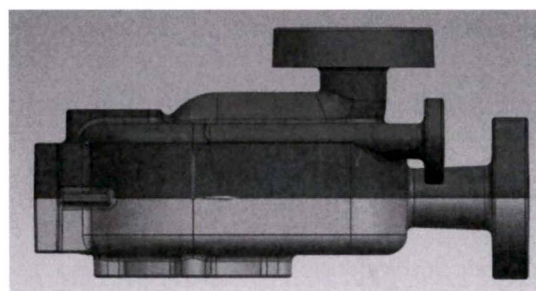
图2 自吸泵内腔形状

Fig. 2 The internal cavity of self-priming pump

修型、流涂难度极大,无法实施。如何解决自吸泵内腔形成,获得组织致密的铸件,满足客户技术要求,



(a)二维分型示意图



(b)三维分型示意图

图3 分型面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of parting surface

2.2.2 砂芯设计

分型面确认后,结合合箱下芯顺序、内腔结构以及芯盒制造等因素设计砂芯。设计结果如图4所示。2#芯组成流道芯,1#和3#芯组成内腔芯,4#为入口芯,下芯顺序按照1#-4#进行。1#芯和3#芯共同组成了内腔体,两个砂芯的结合位置存在缝隙,浇铸过程中易钻入钢水,即形成飞边,其涉及位置为内腔体的内圈和流道的外圈,由于内腔狭窄,无法打磨,无法满足客户要求。1#芯和3#需合并为一个砂芯。

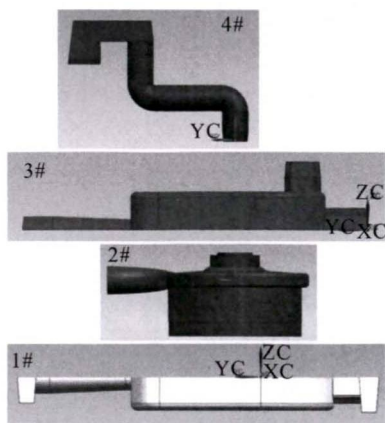


图4 下芯顺序示意图

Fig. 4 Schematic diagram of placing sand cores in sequence

按照上述设计思路,重新对砂芯进行优化,如图5所示。合并后形成一个整体2#号芯。合为一个整

将是工艺设计和生产的首要目标。

2.2 工艺设计和工装

2.2.1 分型面的选择

分型面通常会选择在最大截面或者次最大截面位置,以此减少砂芯数量,节约成本,降低劳动程度。因此,选择最大截面出口流道中心作为分型面。为了使下箱更稳,避免头重脚轻,选择止口方向为下箱;由于入口法兰影响起型,采用两分型的模具工艺。设计结果如图3。

体芯后,有效的解决了内腔飞边的问题,使用时又带来了新的问题,1#号砂芯需要包裹在2#芯中,从而形成泵体流道内腔。由于1#芯出口流道位置和2#号芯干涉,无法下芯,该操作无法实施。需要将1#号芯进行优化和调整。

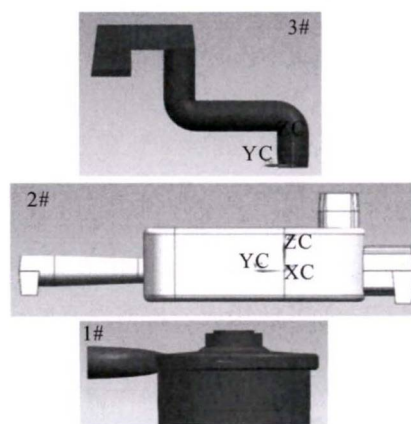


图5 砂芯示意图

Fig. 5 Schematic diagram of sand core

进一步对砂芯结构进行了设计,如图6所示。将上述图5中1#流道芯分解分为2个砂芯,即干涉位置单独分开,重新设计后的砂芯工艺如图6(b)所示。其下芯顺序为1#-4#,其中2#号用铸造胶粘结到3#号上固定。该设计解决了内腔飞边、下芯干涉等问题,确定最终砂芯设计工艺。

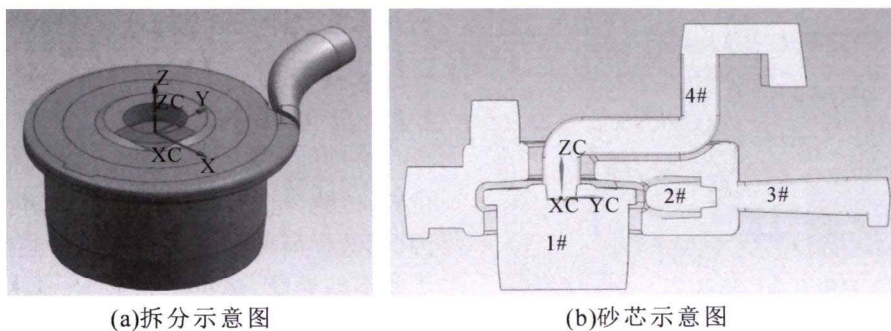
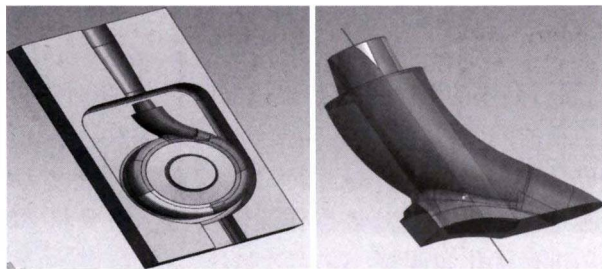


图6 重新设计的砂芯示意图

Fig. 6 Schematic redesigned sand core

2.2.2 芯盒制作

按照图6所示砂芯结构设计芯盒,3#号芯盒结构如图7所示。由于3#号芯需要和2#芯配合,因此3#芯内需要将2#的空间留出,如图7(a)中圈示位置,即如图7(b)所示。由于该位置芯盒固定难度大,抽取方向为圆弧,并且“头大身小”,无法做活块抽出,该芯盒模具无法完成。经过分析设计,最终决定3#由3D打印完成,3D打印用砂子粒度细,表面光洁度高,充分满足铸件表面要求,但是在制作过程中需要注意,手工制芯2#号和3D打印3#号的配合。



(a)3#芯盒模具示意图

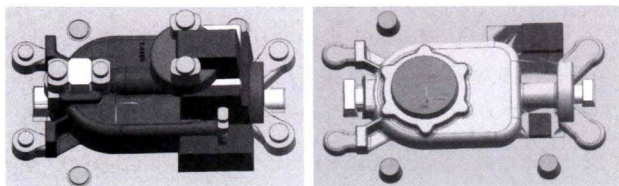
(b)抽模示意图

图7 芯盒示意图

Fig. 7 Schematic core box

2.2.3 冒口座、底板等设计

在法兰等热节需要确定放置冒口位置,提前核算铸件的模数和补缩量,选好冒口型号。按照冒口规格进行冒口座设计,将冒口座在模具上制出,冒口座可以让冒口放置平稳快捷。根据现有的砂箱选择模板,吃砂量 $\geq 60\text{ mm}^{[2]}$ 。完善砂芯、技术要求、定位销等工艺参数,最终制成生产用模板,如图8所示。



(a)上模示意图

(b)下模示意图

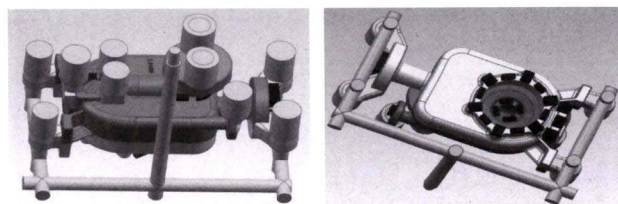
图8 模板示意图

Fig. 8 Schematic pattern plate

2.3 铸造工艺设计

2.3.1 铸造工艺

对浇注系统包括浇注速度,充型时间,浇道截面比例,冷铁尺寸数量和位置,冒口数量尺寸和位置进行了计算。包括模样,浇注系统,冷铁和补缩冒口的工艺系统的三维结构如图9所示。其中,激冷系统包括冷铁放置位置、冷铁数量、冷铁大小等;补缩系统包括冒口大小、冒口数量、冒口种类等。



(a)工艺图俯视

(b)工艺图仰视

图9 三维铸造工艺示意图

Fig. 9 Schematic 3D casting process (gating, feeding and chilling system)

2.3.2 铸造工艺模拟

为了验证工艺的合理性,查找可能出现的缺陷。利用MAGMA铸造模拟软件进行了铸件凝固过程模拟,模拟结果见图10。由于铸件大部分壁厚 10 mm 属于薄壁件,钢液易凝固,补缩距离短,补缩效果较差。对模拟结果进行了切片观察,主要在4个位置缺陷明显,如图11。



图10 模拟结果

Fig. 10 The results of simulation

在止口、支脚、法兰、壳体交接处产生了不同程度的缩孔、缩松,需要对铸造工艺进行进一步的优化。



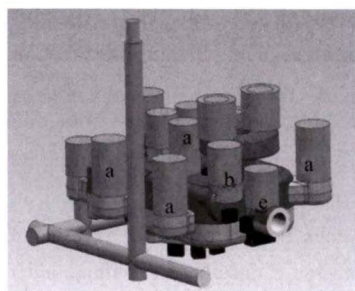
图 11 模拟结果切片显示缺陷位置
Fig. 11 Slices of simulation show shrinkage defects

2.3.3 铸造工艺优化及模拟

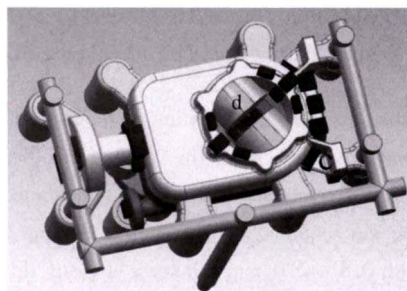
进一步对铸造工艺进行了优化:①壳体上增加冒口,增加补缩;②法兰处增大补贴,下方增加冷铁,增加补缩梯度;③支脚处放置圆棒冷铁,减小热节,增加补缩距离;④止口处放置水平冒口,对止口进行补缩;⑤脖颈处放置冷特和冒口,形成温度、补缩梯度,如图 12 所示。薄壁件易冷却,浇铸温度采用上

限 1 550 ~ 1 555 $^{\circ}\text{C}$,浇铸重量 199 kg,浇铸速度适当提高,9 ~ 11 s 完成浇铸,浇包采用 2 t 铁液包。

进一步对优化后的铸件进行了模拟,模拟结果见图 13。除内部隔舌与壳体交接位置仍有较小缺陷(圈定位置)外,其余缺陷基本消除。经过射线模拟判定,满足 2 级合格。优化后的工艺满足客户技术要求,效果良好,如图 13(c)所示。



(a)工艺图俯视



(b)工艺图仰视

图 12 优化的三维铸造工艺示意图

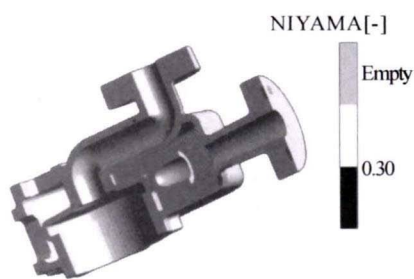
Fig. 12 Schematic optimized 3D casting process (gating, feeding and chilling system)



(a)补缩模拟



(b)缺陷位置



(c)射线模拟判定

图 13 优化工艺模拟结果

Fig. 13 Optimized simulation

3 结语

(1)可以采用 3D 打印和传统的模具制芯相结合的方式获得复杂结构型腔。

(2)薄壁件补缩补缩距离短,需要适当增加冒口数量进行补缩,配合冷铁实现顺序凝固。通过铸造模拟,优化的铸造工艺方案可行。

参考文献:

- [1] 《离心泵设计基础》编写组. 离心泵设计基础[M]. 北京:机械工业出版社出版,1974.
- [2] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册第 5 卷铸造工艺[M]. 北京:机械工业出版社出版,1994.