DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.11.005

厚大中开面多级离心泵缩尺控制及铸造工艺研究

韩亚斌,郑　霏,刘冬冬
(洛阳双瑞特种装备有限公司,河南 洛阳 471000)

摘　要:通过三维软件对厚大中开面多级泵进行建模,设计了多区域顺序凝固工艺方案,并对铸造收缩率进行了分析,确定了4A双相不锈钢多级泵的缩尺设计。借助数值仿真技术对铸件充型凝固过程进行了全流程模拟,通过对两种工艺方案结果的对比,分析了铸造缺陷及其产生的位置,选择了最佳工艺方案即中开面向下底注方式,保证了钢液平稳和完整的充型。结果表明,采用优化后的铸造工艺方案进行了样件试制,质量达到设计要求,满足使用要求。

关键词:双相钢铸件;多级离心泵;缩尺设计;数值模拟

中图分类号:TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)11-0948-04

Study on Scale Control and Casting Technology of Thick and Middle-separated Surface Multistage Centrifugal Pump

HAN Yabin, ZHENG Fei, LIU Dongdong
(Luoyang Sunrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471000, China)

Abstract: The multi-stage pump with thick and middle-separated surface was modeled by 3D software, and the multi-zone sequential solidification process was designed. The casting shrinkage rate was analyzed, and the scale design of 4A duplex-phase stainless steel multi-stage pump was determined. With the help of numerical simulation technology, the whole process of casting filling and solidification process was simulated. By comparing the results of two kinds of technological schemes, the casting defects and their locations were analyzed, and the best technological scheme was selected, i.e., the middle opening facing bottom injection, which ensured the smooth and complete filling of molten steel. The results show that the optimized casting process is adopted to trial-produce the sample, and the quality meets the design requirements and the use requirements, which provides a reference for the production of the same type of casting.

Key words: duplex stainless-steel casting; multistage centrifugal pump; scale design; numerical simulation

双相不锈钢多级离心泵主要采用砂型铸造方法获得,对于结构复杂、壁厚不均匀的泵体采用整体铸造的方式容易产生变形和铸造缺陷等问题,例如裂纹、缩松、夹渣、气孔、缩孔等缺陷。如果浇注过程中充型不均匀稳定,挡渣效果达不到预期,则较易产生氧化夹杂缺陷。因此在设计铸造工艺方案时不仅要关注厚大及热节区域的补缩效果,还要统筹考虑充型过程是否平稳、除渣去气是否顺畅等方面的问题。

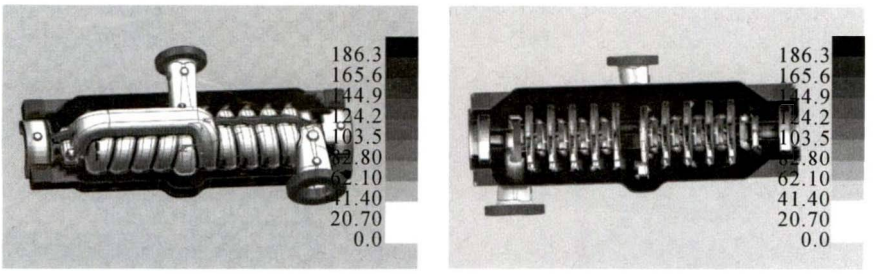
在不锈钢泵体的铸造过程中[1],凝固收缩使得铸件长度方向尺寸变短,称之为线收缩。线收缩与铸件的变形、开裂和模具制造密切相关,为获取尺寸符合要求的铸件,工艺设计时需要重点考虑铸造收缩率。铸造收缩率通常与合金的成分与种类、铸件冷却时收缩遇到的阻力大小、冷却条件等有关。对于小批量生产的大型铸件,铸造收缩率的设计不仅要根据生产经验,同时也要兼顾工艺补正量,适当调整加工余量来保证铸件尺寸合格。同时为了减少收缩产生的缺陷,获取组织致密的铸件,多采用冒口与冷铁相结合的设计,使铸件实现顺序凝固。泵体铸造工艺的设计一般遵循将铸件的重要部位和易产生缺陷部位放在最有利位置[2]的原则,铸件的主要工作面或重要加工面设置在侧方或底部,热节部位设置在分型面附近的上部或侧方,便于放置冒口。

1　铸件工艺设计

泵体材质为双相不锈钢ASTMA8904A(CD3MN)。泵体铸件外形尺寸为2 900 mm×1 350 mm×600 mm,三维图及壁厚分布如图1所示。泵体平均壁厚53 mm,最大壁厚为208 mm,属大型双相不锈钢多级泵产品。该铸件结构复杂,泵体级数多,中开面壁厚大,凸台分布广,热节多且不集中,生产过程中产生缩松、缩孔、浇不足等缺陷的风险较高。流道中心与进出口法兰不在同一平面,呈现出空间曲面结构,导致分型面的选择困难,考虑到砂芯的定位及制造难度,考虑

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,E-mail:Elijahan1991@163.com



(a)中开面向下　　(b)中开面向上

图 1 泵体铸件三维图和壁厚分布图

Fig.1 Three-dimensional drawing and wall thickness distribution of the pump casting

将中开面设置为分型面。

1.1 缩尺设计

结合生产现场，采用树脂砂手工制芯和造型，对模具缩尺精度、模具结构设计合理性和制作精度以及组芯操作水平都提出了很高的要求。4A 双相钢材质的缩尺一般控制为 2.0%~2.3%，根据多级泵铸件的结构特点，尺寸缩尺多控制在 2.5%以下，但泵体和泵盖中开面厚度厚且外形尺寸较大，按照生产经验设置的缩尺可能会造成外形尺寸超差。针对钢液的体收缩较大，缩尺设计结果如下：①外模长度、宽度、高度 3.1%；②流道截面中心之间缩尺 2.8%；③流道截面宽度不放缩尺，并标准尺 -1.5 mm；流道截面长度 2.0%；④出口法兰、入口法兰和泵体水平中心缩尺 2.0%；⑤出口法兰中心和入口法兰中心之间缩尺 2.5%，在中开面上出入口流道中心缩尺仍按照2.8%；⑥其余 2.9%。

1.2 补缩控制

双相不锈钢凝固区间宽，易产生糊状凝固，导致铸件补缩困难，产生缩松、缩孔等缺陷，因此双相不锈钢铸件的冒口模数应比普通不锈钢铸件冒口模数大约 20%左右。由于泵体厚大部位多、热节分散、需要补缩的区域多，不能建立统一的顺序凝固，按照“冒口-热节-末端”的凝固补缩思路构建若干个小区域的顺序凝固，保证其组织致密，进而保证泵体整体的组织致密。根据泵体的结构特点和补缩特性，在泵体的厚大部位、热节部位均设计冒口进行补缩。将冒口座、补贴和冒口径在模具上制出，放置冒口后如图 2 所示。

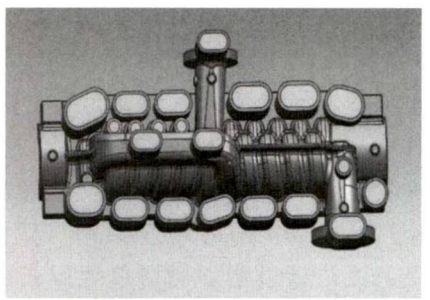


图 2 泵体铸件冒口和补贴布置图

Fig.2 Risers and pads layout of the pump casting

2 铸造工艺设计

2.1 分型面的选择

根据常规中小型多级泵生产经验，分型面一般为最大截面处，即中开面处。一般分为中开面向上和向下两种方案，多数选择中开面向上方案，这样芯头易于固定，合箱操作容易，但钢液最后集中到壁厚较薄的流道处，产生的夹渣在该处形成堵塞无法顺利上浮且排除困难。而选择中开面向下的方案，冒口放置于上方，利于钢液补缩，钢液最后流入较为厚实的中开面大平面处，产生的夹渣能够顺利上浮到冒口中，后期进行切割去除，但组芯时需采用吊芯工艺，加大了合箱的操作难度。

2.2 浇注系统设计

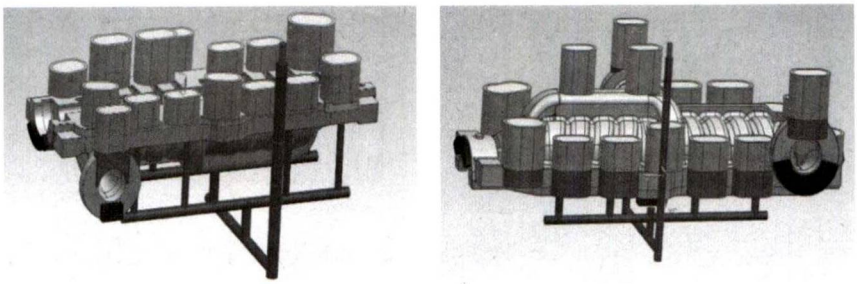
中开多级离心泵结构复杂，浇注充型时钢液流动的方向和流速不稳定，易出现涡旋和紊流导致卷气，铸件容易产生气孔、夹渣等缺陷。同时，双相不锈钢的铬含量较高，氧化膜的形成使得夹渣缺陷出现几率更高。为了减少钢液紊流，采用底注法，如图 3 所示分为中开面向上和中开面向下两种工艺方案，泵体浇注重量共 6.8 t，浇注系统采用开放式，浇注系统各单元截面积比为[3]：

$$\sum 包:\sum 直:\sum 横:\sum 内 = 1:2:4:4 \quad (1)$$

泵体涡壳两侧设置内浇道各 4 道，左右对称，以便保证内浇道的钢液进入量与泵体充型体积相匹配，减少内浇口钢液充入后的紊乱程度。钢液充型时，需保证充型速度≥150 kg/s，钢液上升速率≥30 mm/s。根据以上工艺设计，可保证泵体浇注时钢液大流量的从底部进入，自下而上平稳快速充型，不发生卷气、紊流情况，便于夹杂物上浮有效的降低气孔、氧化、夹杂等缺陷。

2.3 数值模拟

图 4 为采用中开面向上方案得到的泵体缺陷模拟分布示意图。可以看出，泵体缺陷如缩松、缩孔等大部分存在大过桥、涡壳与中开面交接处、法兰



(a)中开面向上　　(b)中开面向下

图 3 两种工艺方案浇注系统示意图

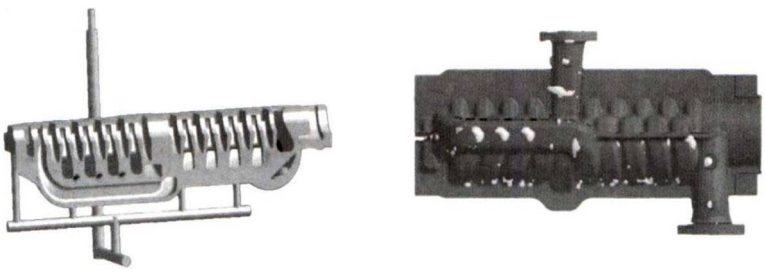
Fig.3 Schematic diagram of the gating system for two process schemes

下侧等区域。由此可见，虽然中开面处冒口补缩较好，但中开面厚度过大，涡壳下方受钢液冲击，过桥芯会被钢液持续冲刷，补缩难度大，容易造成缺陷。

考虑在大过桥、涡壳与中开面交接处等位置出现的缩松、缩孔等缺陷，原因是冒口距离距离较远，补缩不足，无法通过增加侧冒口等方式来减少缩松，因此改变思路选择中开面向下方案。图 5 为采用第二种方案获得的泵体模拟缺陷分布示意图。有图可以看到，涡壳发生缩松、缩孔的可能性明显降低。缺陷分布结果表明，中开面向下浇注方式对铸件壳体的补缩效果显著。

3 生产验证

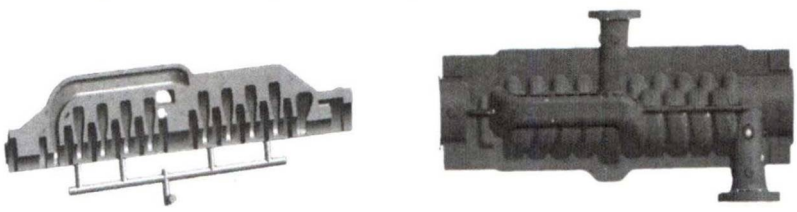
综合产品的品质要求考虑，选用中开面向下方案，按照既定的思路对 4A 双相不锈钢多级泵铸件铸造工艺方案进行优化。经机加工和精磨后，泵体成品如图 6 所示，表面状态良好，经样板对比后铸件尺寸满足 GB/T 6414 CT11 级。表明该方案铸造工艺的设计更合理，冒口、浇道和冷铁等因素配合良好。经生产验证证明第二个铸造工艺方案更为合理，浇冒系统实现最佳组合。



(a)缺陷剖面图　　(b)缺陷分布透视图

图 4 方案 1 铸件缺陷分布示意图

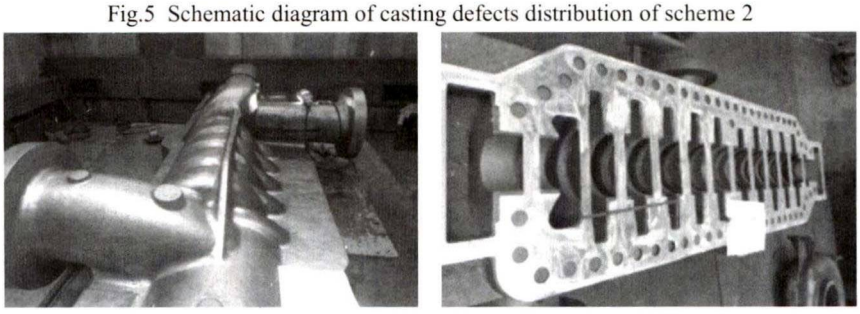
Fig.4 Schematic diagram of casting defects distribution of scheme 1



(a)缺陷剖面图　　(b)缺陷分布透视图

图 5 方案 2 铸件缺陷分布示意图

Fig.5 Schematic diagram of casting defects distribution of scheme 2



(a)铸件成品　　(b)尺寸样板对照图

图 6 泵体铸件成品和样板对照图

Fig.6 Pump casing product and comparison with the template

4 结语

通过设计大的缩尺保证厚大中开面多级泵外形线收缩，对比样板后尺寸符合要求。通过铸造三维模拟对铸造工艺进行优化，采用中开面朝下的底反浇注系统，大过桥和涡壳处缺陷基本消除。为后续中开面厚 200 mm 以上的多级离心泵铸造技术开发及模具工艺设计提供参考。

参考文献：

[1] 徐兴卫. 泵壳铸件铸造缺陷及防止[J]. 铸造技术，2009，30(11)：1472-1473.

[2] 郭代营，梁向方，尹怡民，等. 大型高铬铸铁叶轮铸造成形研究[J]. 大型铸锻件，2009(7)：22-26.

[3] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：铸造工艺[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

（上接第 947 页）

环境，成为绿色生产的典范。

3 结语

宝珠砂在发动机铸件行业的应用，提高了生产效率、改善了劳动环境、解决了铸件缺陷，取得了显著的经济效益和良好的环保效益。发动机铸造行业应继续加大型芯砂的再生力度，进一步提高宝珠砂使用效益，降低固体废弃物排放。从使用效果和使用范围来看，目前在发动机铸件行业，宝珠砂是综合性能最好、用量最大的铸造特种砂。

参考文献：

[1] 吴景峰，马顺龙，刘世俊. 铸造用球形砂性能与应用研究[J].热加工，2010，9：33.

[2] 聂越，刘增林，苏鹏，等. 宝珠覆膜砂在缸体铸造中的应用[J].铸造，2017，66(4)：415.

[3] 张翼，任豹子，宋照洋，等. 陶瓷覆膜砂在排气歧管上的应用[J]. 现代铸铁，2018，38(4)：54-57.

2022年《铸造技术》杂志征订

1979年创刊月刊西安市科学技术协会主管西安市铸造学会主办

国内邮发代号：52-64 国外发行号：M855 中国标准连续出版物号 ISSN 1000-8365 CN 61-1134/TG

《铸造技术》杂志是集中报道国内外铸造领域先进科研成果、实用工艺技术、生产管理经验以及铸造行业发展动态的综合性科技期刊。内容涵盖铸造成型工艺和铸造材料研究，并兼顾其他金属材料成型方法。对科研院所与企业的研究人员、工程技术人员、管理人员以及高等院校师生具有参考价值。

《铸造技术》杂志刊登铸造设备、熔炼设备、环保设备、铸造原辅材料、检测仪器仪表、计算机模拟软件、3D打印等相关信息，为铸造行业的供应商、采购商搭建平台、提供服务。

请读者从当地邮局或本刊编辑部订阅。全年12期，每期定价25元，平邮全年300元（含邮费），快递全年420元。

银行汇款：

户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司

账　号：3700 0235 0920 0091 309

开户行：中国工商银行西安市互助路支行

联系地址：陕西省西安市碑林区友谊西路127号西北工业大学凝固楼308室

电话/传真：（029）88491681 88491682

联系人：李巧凤13991824906

http://www.zhuzaojishu.net

Email: zzjs@263.net.cn

铸造技术杂志