● 生产技术 Production Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.10.016

多曲面高载荷立柱铸造工艺设计

田忠殿,郑 建,吴均云
(上海船舶设备研究所,上海 200031)

摘 要:通过对多曲面高载荷立柱铸造工艺设计研究,采用分段铸造而后组焊的工艺降低了铸造难度;同时,通过对铸造过程中造型、熔炼及浇注、热处理、组焊、质量检验和缺陷修补等工艺过程的控制,解决了铸型的注填困难及铸件容易产生缩孔、气孔、砂眼和夹杂等缺陷的工艺难题,形成了一套安全可靠的立柱铸造工艺流程。结果表明,按照本工艺铸造生产的立柱铸件质量满足设计和使用要求。

关键词:全回转电力推进器;立柱;铸造工艺

中图分类号:TG269 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)10-1090-03

Casting Process Design of High Load Rudder Tube with Multi-curved Surface

TIAN Zhongdian, ZHENG Jian, WU Junyun
(Shanghai Marine Equipment Research Institute, Shanghai 20031, China)

Abstract: Through the research on the casting process design of high load rudder tube with multi-curved surface, the technology of subsection casting and then assembly welding was adopted to reduce the difficulty of casting. At the same time, through to the casting process of molding, melting and casting, heat treatment, compound, quality inspection and defects repair process control, to solve the injection mold filling difficulty and easy to produce castings defects such as shrinkage cavity, porosity, sand holes and inclusions of technical problems, a set of safe and reliable stud casting process was formed. The results show that the quality of rudder tube castings produced by this process can meet the design and application requirements.

Key words: electric azimuth thruster; rudder tube; casting process

全回转电力推进器是近年来发展起来的一种新型的船舶特种推进装置,突破了传统的"柴油机+开放式转动轴系"的推进器设计定式,它将推进电机置于推进器舱体中,并安装在船体尾部,电机直接与螺旋桨相连,整个推进器可以在360°内水平旋转,提供各种水平方向的推力。立柱为全回转电力推进器的重要结构件,螺旋桨旋转产生的船舶推进力靠立柱传递至船体,铸造质量是保证立柱结构安全与可靠的重要前提。立柱属于大型多曲面连接,结构复杂,流动阻力大,铸型的注填困难,铸件容易产生缩孔、气孔、砂眼和夹杂等缺陷,所以有必要对立柱的铸造进行工艺研究,以提高铸件的铸造质量。

1 铸件结构和技术要求

铸件材质为ZG270-480H GB/T7659-2010,属于焊接结构用铸钢件。铸件整体尺寸大、外形复杂、壁厚不均匀,最大壁厚140 mm,最小壁厚25 mm,为多曲面连接结构。

铸件不允许有裂纹、缩孔、缩松、砂眼、气孔等缺陷,粗加工完成后需进行超声波探伤,按标准GB/T7233.1-2009 II级评定,精加工完成后进行磁粉探伤,按标准GB/T9444-2007 II级评定;铸造、焊接及粗加工后作去应力处理,交货前进行气密性试验,压力0.2 MPa,保压15 min无泄漏;铸造尺寸公差要求GB/T6414-1999 CT12。立柱铸件的化学成分见表1,力学性能见表2。

2 铸造工艺方案分析

2.1 整体铸造方案

立柱铸件最大外形尺寸3 500 mm×2 800 mm×2 300 mm,毛坯重7 000 kg,具有复杂的内部空腔和外部多曲面连接结构。通过铸件结构分析得知,采用整体铸造其造型困难,如图1所示,铸造分型面位于铸件中间位置,泥芯无法固定,需要大量的芯撑,导致铸件气密性差,后期清砂出砂也困难,铸件形状尺寸很难保证。由于铸件大法兰位于侧面,不利于铸造补缩,会导致铸件内部产生缩孔、缩松缺陷。铸件大

收稿日期:2019-06-29
作者简介:田忠殿(1982-),山东济宁人,工程师.主要从事船舶特种推进器研发.电话:021-54529704-4129,E-mail:tianzhongdian@163.com

表 1 立柱铸件化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of rudder tube

主要元素					残余元素					
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	总和
0.17～0.25	≤0.60	0.80～1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.40	≤0.35	≤0.40	≤0.15	≤0.05	≤1.00

表2 立柱铸件力学性能
Tab.2 Mechanical Properties of Rudder tube

屈服强度 R_{eH}	抗拉强度 Rm	断后伸长率	断面收缩率	冲击吸收功
MPa	MPa	A(%)	Z(%)	A_{KV2}/J
270	480	20	35	40

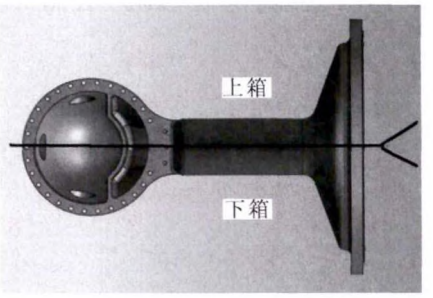


图 1 整体铸造示意
Fig.1 Schematic of overall casting

部分面积位于铸造上平面，气体和夹杂物易在上平面形成气孔、砂眼、夹渣等缺陷。立柱结构的壁厚差别很大，最大厚度 140 mm，最小厚度 25 mm，浇注过程充型能力较差，凝固时间差别很大，不利于顺序凝固，收缩应力大，铸件阻碍收缩处易产生裂纹缺陷。所以，需对铸造工艺进一步优化设计研究，选取合理的铸造方法有效地避免出现铸件尺寸超差和缩松缩孔缺陷，保证铸件质量。

2.2 铸造优化方案

针对整体铸造质量控制困难的结构特点和材料特性，提出分 3 段铸造再组焊的生产工艺，分段铸造工艺方案见图 2。分段铸造可简化单个铸造件的造型，利于补缩可减少铸造缺陷。第一分段选择立柱大法兰面朝上的工艺方案，采取设置加工量、冒口和外冷铁等工艺措施，使得铸件从结构上形成自下而上的顺序凝固，让可能出现的缩孔集中在冒口中，保证铸件组织致密，使其满足超声波探伤要求。第二分段铸件结构简单壁厚均匀，造型、浇注都方便施工操作，易于控制铸造质量。第 3 分段选择法兰面向下的分型工艺，采取设置冒口、外冷铁和阶梯浇注等工艺措施，金属液自上而下分层流入型腔，内浇道分散，金属液冲击小，充型比较平稳，铸件下部金属在上部金属的静压力作用下凝固并得到补缩，减小出现缺陷的可能性。

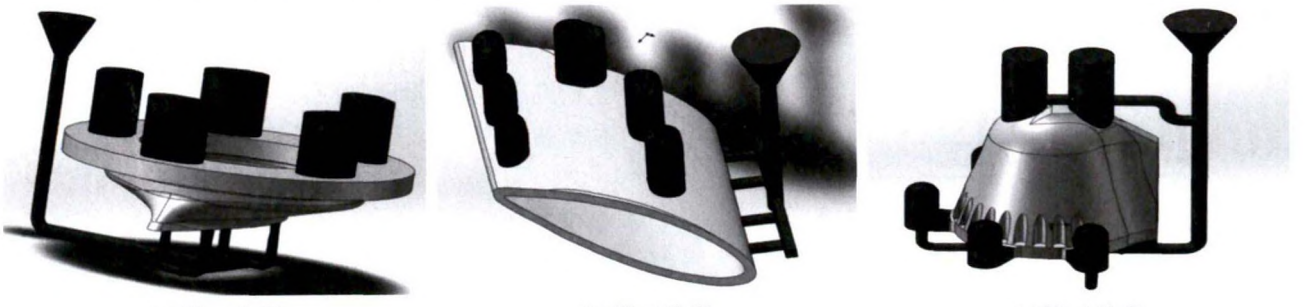
3 铸造工艺过程

3.1 造型

作为单件小批量的船舶推进器用重型铸件，立柱铸件采用手工造型方法。通过选取合理的造型材料、型砂成分配比、型砂的紧实度、冷铁等因素，提高铸型的充填能力。铸造用砂是型砂的骨架材料，其影响型砂的性能和铸件的质量。立柱铸件采用树脂砂造型，局部采用不与氧化铁起反应的铬铁矿砂。在铸型和砂芯表面涂上与合金液不相润的涂料层，可获得表面光洁的铸件。造型过程需控制的工序要点为：①生产前需检查模具尺寸与外形，查看模具活块，如有损坏，维修后再使用；②按照工艺图要求布置冒口、冷铁、浇注系统等；③放砂时靠近铸件表面及凹槽易于粘砂处要将砂型捣实，保证型砂 24 h 时抗拉强度 0.6～1.2 MPa；④易于粘砂处采用铬铁矿砂；⑤锆英粉涂料涂 3～4 遍，保证涂料层厚度 1 mm；⑥按图纸检查尺寸吹净型腔后合箱。

3.2 熔炼、浇注

根据铸件的材料物理特性、铸件结构和铸型特点确定合理的熔炼及浇注工艺。在熔炼过程中，去除原材料的锈蚀和油污，尽量使金属液不接触或少接触有害气体，对铸件材料要充分脱氧或精炼去气，减少其中的非金属夹杂物和气体。浇注温度对液态铸



(a)第一分段　　(b)第二分段　　(c)第三分段

图 2 分段铸造示意
Fig.2 Segmental casting schematic

件的充填能力有决定性影响，在一定温度范围内，浇注温度越高充填能力越好。但浇注温度超过一定界限后，由于吸气多，氧化严重，充型能力的提高幅度减小。同时预热铸型能减小金属与铸型的温差，从而提高其充填能力。熔炼和浇注过程的工艺要点为：①熔化期：用允许的最大功率放电，熔化末吹氧助熔，氧气压力 50～80 MPa，加适量石灰；②氧化期：脱碳量≥0.30%，氧化温度≥1 620 ℃；③还原期：扒除氧化渣后进行脱氧，保持白渣时间≥15 min；④钢包需烘烤到 600 ℃以上，暗红色；⑤出钢温度 1 590～ 1 620 ℃，镇静时间大于 5 min，吹氩气；⑥浇注温度 1 555～1 565 ℃，直浇道 ϕ60 mm。

3.3 热处理

在铸造完成后，为满足铸件技术要求中规定的力学性能，细化晶粒，消除铸造应力，采取正火+回火的热处理工艺。正火温度控制在 910 ℃，保温 5 h 使铸件完全奥氏体化，采用空冷，使其具有良好的力学性能，时间和温度控制工艺方案如图 3 所示。同时铸件采用高温回火，减低脆性消除内应力，减少铸件的变形和开裂，调整硬度，提高铸件塑性和韧性，获取技术要求的力学性能，时间和温度控制工艺方案如图 1。

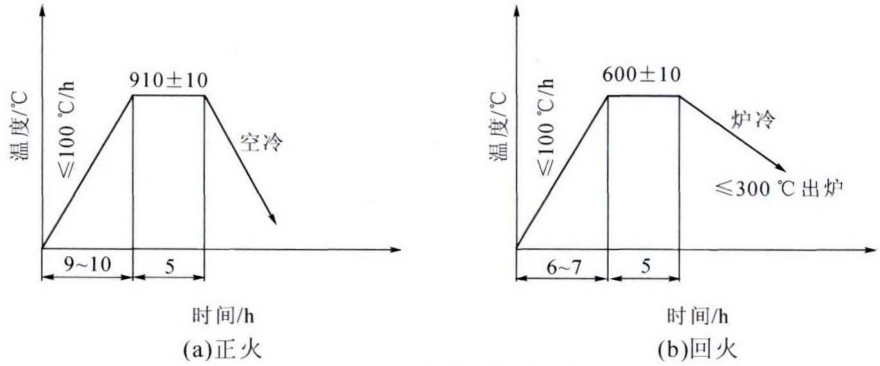


图 3 热处理时间和温度控制工艺方案
Fig.3 Heat treatment time and temperature control process plan

3.4 组焊

根据立柱铸造方案的设计，铸件分段铸造完成后需组焊成型，组焊的工艺方案如图 4 所示。焊接时为保证焊缝与母材具有相同的强度，减少焊接气孔及焊接裂纹的产生，本方案选用强度等级相当的低氢型焊丝 THY51B。为控制焊接质量，焊接坡口采用 V 型坡口，保证根部不出现未焊透及未融合等缺陷，坡口采用碳刨刨出，打磨干净将渗碳层去除，然后坡口做 MT 检验，确认无裂纹。焊接前在焊接铸件端面划十字线，铸件下方做焊接固定，校正水平位置。将焊接区域按圆周等分若干，采取对称法及跳焊法，减小焊接变形量。铸件整体焊接完成后，采用保温措施，使其缓冷或立即回火处理。

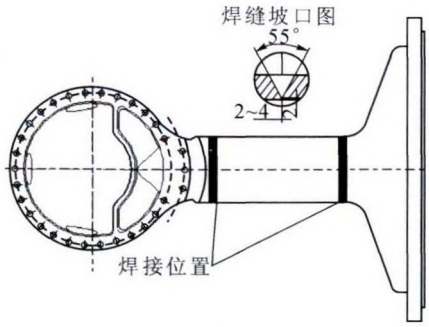


图 4 组焊工艺方案
Fig.4 Welding process plan

3.5 铸件质量检验与缺陷修补

铸造工艺过程复杂，影响铸件质量的因素很多，由于生产过程的不确定因素可能造成各种铸造缺陷。根据技术要求立柱铸件粗加工完成后进行超声波探伤，按标准 GB/T7233.1-2009 Ⅱ级评定，精加工完成后进行磁粉探伤，按标准 GB/T9444-2007 Ⅱ级评定。如在质量检验中出现裂纹、缩孔、缩松、气孔等经内部和外部缺陷，因立柱材料为焊接结构铸钢材料，可焊补修复处理，焊接修复完成 48 h 后做超声波探伤和磁粉探伤复检。

4 结论

通过此工艺研究，提出分段铸造而后组焊的工艺方案，解决了立柱铸件因外形尺寸大、内部空腔复杂和外部多曲面连接导致的铸造难题。同时根据立柱材料特点和技术要求，进行了关键生产过程的工艺研究，经生产验证，按照本工艺研究成果进行的立柱铸造生产实施，铸件质量满足设计要求。

参考文献：

[1] 曾乐. 现代焊接技术手册[M]. 上海：上海科学技术出版社，1993.
[2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册. 铸造工艺 (第 2 版)[M]. 北京：机械工业出版社，2010.
[3] 林柏年. 特种铸造[M]. 杭州：浙江大学出版社，2004.
[4] 王文清，李魁盛. 铸造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2007.