● 实用成型技术 Practical Shaping Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.11.013

红沿河核电站5、6号机组主给水泵精加工工艺设计及实践

刘克新[1],徐继坤[1],刘 侠[2]
(1.洛阳双瑞特种装备有限公司,河南 洛阳 471003; 2.上海爱驰亿维汽车销售公司,上海 200000)

摘 要:设计了主给水泵铸件的精加工工艺方案,通过合理的加工、检测工步设置,同时满足第三方现场要求,并且兼顾铸件缺陷的排查和修复,避免了由于大型铸件加工缺陷审核不通过及反复多次审核的情况。结果表明,机械加工工艺方案合理、工艺流程顺畅,解决了马氏体钢大型高精度铸件的尺寸、形位公差、焊补维修、焊后热处理及现场审核等工序的关系,产品质量达到标准要求。

关键词:核电站;主给水泵;加工工艺;现场审核

中图分类号:TG245 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)11-0979-04

Design and Practice of Finish Machining Process for Main Feed Pump of Hongyanhe Nuclear Power Plant Unit 5 & 6

LIU Kexin[1], XU Jikun[1], LIU Xia[2]
(1. Luoyang Shuangrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471003, China; 2. Shanghai Aiways Automobile Sales Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract: The finish machining process scheme of the casting of the main feed pump was designed. Through reasonable processing and testing steps, the site requirements of the third party were met, and casting defects were investigated and repaired, so as to avoid the failure and repeated audit of large castings due to processing defects. The results show that the machining process scheme is reasonable and the process flow is smooth, and the relationship between the size, shape and position tolerance, welding repair and maintenance, post-welding heat treatment and site audit of large precision casting of martensitic steel is solved, and the product quality meets the standard requirements.

Key words: nuclear power plant; main feed pump; processing technology; On-site audit

红沿河核电站位于辽宁瓦房店市红沿河镇,是国家"十一五"期间首个批准建设的核电项目,也是中国首次一次性标准化、规模化建设4台百万千瓦级核电机组的核电项目,是东北地区第一个核电站。红沿河1号~4号核电机组已于2007年8月陆续开建,并于2016年4月最后1台4号机组并网发电。5、6号机组陆续获国务院批准并开建。5、6号机组采用我国自主研发的ACPR1000三代核电技术。上海阿波罗机械股份有限公司中标红沿河5、6号机组LOT42Aa项目主给水泵[1]。负责红沿河5、6号机组主给水泵和主泵的泵体、泵盖等配件的铸造和加工,全部零件以成品态交货。该批泵类铸件结构复杂、尺寸大、尺寸精度要求高,在控制加工质量的同时,还需要兼顾见证,检验,无损、焊修等工序,生产制造难度极大。

1 技术要求

泵体铸件材质选择ASTM A487 CA6NM CLA马氏体不锈钢,铸件的化学成分和力学性能要求分别列于表1和表2。铸造缺陷焊接修复后需进行焊后热处理。泵体加工部位表面目视检查,符合MSS SP-55标准的要求;泵体过流部位表面质量符合Q/A J208.003 B级要求。泵体指定关键部位射线检查,符合ASME Ⅷ附录7的要求;射线检查不到的部位进行超声波检查,符合ASME Ⅷ附录7的要求。射线检查部位和超声波检查部位如图1。

泵体所有可检测到的部位进行磁粉检查,符合ASME Ⅷ附录6的要求。泵体精加工后加工部位进行目视检查、渗透检查,符合ASME Ⅷ附录8的要求。泵体精加工完毕后须与泵盖等装配在一起进行水压试验,试验压力20.25 MPa,保压30 min以上,要求无渗漏、冒汗等。满足图纸机械加工尺寸、形状

收稿日期:2021-05-20
作者简介:刘克新(1983—),安徽颍上人,学士,工程师.主要从事不锈钢碱性酚醛树脂砂型铸造,不锈钢精密铸造.电话:18039439949,Email:21448713@qq.com

表1 铸件的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of casting

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	残余元素(总≤0.50)		
								Cu	W	V
≤0.06	≤1.00	≤1.00	≤0.03	≤0.04	11.50~14.00	3.50~4.50	0.40~1.00	≤0.50	≤0.10	≤0.05

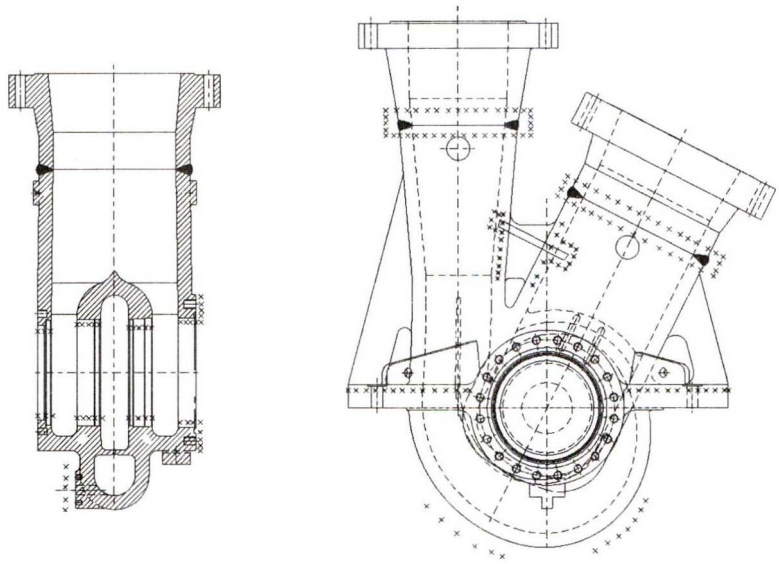

图 1 主给水泵无损检测部位示意图(xRT- 射线检测, #UT- 超声波检测)
Fig.1 Schematic NDT locations (xRT-Radiographic testing, #UT-Ultrasonic testing) of the pump

表2 铸件的力学性能
Tab.2 Mechanical properties of casting

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	断面收缩率(%)	冲击吸收功 (室温)/J	硬度 (HB)
760~930	≥550	≥15	≥35	≥50	250~290

位置公差、表面粗糙度要求。

2 机加工难点分析

铸件的加工工艺设计需要充分考虑铸件大小、结构,并考虑加工过程中可能出现的铸件内部缺陷的风险。主要对尺寸精度要求高加工难度大的精加工工序进行阐述。

图 2 为泵体的 3D 结构示意图。成品重量约 3 t,外形尺寸为 2 400 mm×1 796 mm×645 mm,需要选择工作台足够的加工设备。其出口法兰长度为 1 640 mm,产品重心与流道中心相距较远。产品的较大的自重在设备工作台上旋转会造成很大的扰动,影响加工精度,造成尺寸不合格。

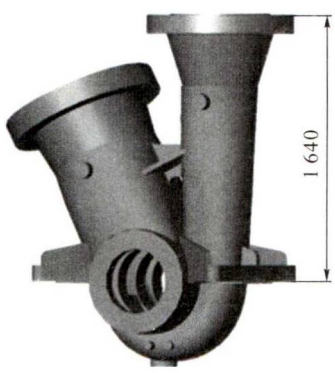

图 2 主给水泵的 3D 结构示意图
Fig.2 3D schematic structure of main feed pump

图 3 为主给水泵加工基准示意图。泵体铸件属于三腔结构,形状复杂,图纸要求,5 个 H7 级配合精度的同轴内孔,2 个端面,如图中线段区域;根据

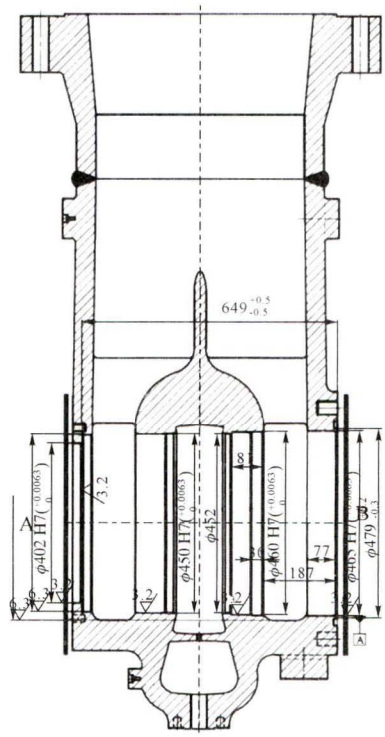

图 3 主给水泵加工基准示意图
Fig.3 Schematic machining datum of main feed pump

GB/T1804，直径450内孔精密f级公差为0.3 mm，该尺寸精度已经超过精密级别。并且要求该7处装配尺寸,相对于基准轴心的跳动度小于0.03。同时该7处尺寸及跳动度，广核及客户要求现场见证。由于产品较大找正非常困难,产品拆卸后,再次找正跳动度至0.02 mm内非常困难。这个见证要求,使产品的加工不能随意掉头、拆卸。否则二次找正的加工部位跳动度超差风险很大。

ASTM A487 CA6NM属于铬镍钼马氏体不锈钢,易产生裂纹和变形缺陷。产品缺陷修复后必需加热到607 ℃焊后热处理。如果是机加工过程中遇到需要焊接修复的缺陷,607 ℃的高温将导致所有尺寸的变形超差。

技术要求3泵体指定关键部位射线检查;射线检查不到的部位进行超声波检查。从检测部位可以看出基本包括了重要的机加工面。设计意图是为了保证产品的加工质量。但射线检查部位和超声波检查部位不超标的内部缺陷,加工后暴露出来会变成表面缺陷。表面缺陷按照后续技术要求5的着色标准检查,将不被允许,势必需要修复,如有焊接和热处理将出现变形超差。考虑到3 t重的超大铸件加工过程中不可能没有缺陷,加工工艺设计时必需考虑相应的应对措施。

泵体精加工完毕后须与泵盖等装配在一起进行水压试验。试压如产生的渗漏,铸件产生渗漏时,一般有贯通性的缺陷。需要抠挖清除后焊修,其后进行的热处理，会导致该部位的精加工尺寸超差。铸件壁厚不均,结构复杂,试压时,水的压力带来的尺寸变形无法预估、预防。需要加工工艺设计应对措施。零件装配时,金属表面的互相接触、滑动,和操作工的不当行为,会导致产品表面的划痕、磕碰等外观检查无法通过的缺陷。如无应对措施,加工面的维修势必导致返修、尺寸超差。

3　铸件机加工工艺设计

3.1　设备选择

由于产品尺寸较大,我司没有精度适合的大型设备,经过外部资源协调。综合考虑,有3种设备适合于主给水泵铸件的加工。分别是4 m立式数控车床、TPX6113型卧式铣镗床和大型加工中心。考虑到大型立式车床较高的费用及重心偏离回转中心产生的扰动，排除此方案。加工中心费用高昂,排除。最终选定了TPX6113型卧式铣镗床,该设备出厂2年,精度高,能保证尺寸要求。由于铸件焊补和焊后热处理的需要,现场需要准备焊接设备、局部热处理设备。

3.2　PT(liquid penetrant testing 渗透测试),VT (Visual Testing目测)见证方案制定

主给水泵结构复杂，轴孔及AB端面该7处尺寸及跳动度,广核及客户要求现场见证。由于产品较大,找正非常困难,产品拆卸后,再次找正一个尺寸合格且跳动度至0.02 mm内较难，要同时找正7处尺寸至合格非常困难,找正耗时过长,广核见证人员有可能直接判为不合格。这样的见证要求,使产品的加工不能随意掉头、拆卸,需要尽量一次加工完。加工完毕后,自检合格后,泵体在设备上不动。邀请等待客户来加工现场进行见证。

精加工后的PT、VT见证如果不合格,将会涉及到返修、热处理会导致尺寸超差变形，因此精加工时,就需要步步PT,确保该道工步完成并且PT、VT合格后,才能换基准进行下道工步。

3.3　精加工方案制定

由于要保证最终见证时，不仅要检测两端面及轴孔的所有尺寸、跳动。同时还要预防精加工过程可能出现的铸造缺陷。制定了如下精加工方案。

(1)水压实验(增加粗加工水压实验,提前排查渗漏的可能)。

(2)工件上镗床,装夹找正。

(3)按粗加工基准加工至单边余量0.5 mm。

(4)PT、VT清除缺陷并进行局部热处理。

(5)精加工尺寸至单边余量0.1~0.2 mm。

(6)精加工左侧A端面,至单边余量0.1 mm。

(7)PT、VT确保A端面合格，如不合格清除缺陷并进行PWHT,加工0.05 mm后重新PT、VT。

(8)打表确认A端面跳动度合格。

(9)掉头、换长镗杆。

(10) 刀杆穿过轴孔，上百分表打A端面跳动度,找正至0.025以内(较传统加工方式,打表找平面、内圆2个自由度的尺寸，此处由于只找正平面度,较容易操作)。

(11)精加工5处轴孔、B端面,留0.1mm加工余量。

(12)PT、VT确保轴孔、B端面合格，如不合格清除缺陷并局部热处理,加工0.05mm后PT、VT。

(13)精加工轴孔、B端面至图纸尺寸,公差带中上区域(一旦最终着色发现缺陷,仍有一定维修的余量,配套的泵盖该位置尺寸加工时,应按公差中下区域控制,方便装配)。

(14)PT、VT确保合格,如不合格清除缺陷并进行局部热处理,加工至公差下部区域后PT、VT。

(15) 打表自检5处轴孔及A、B端面跳动,(由于工件没有拆卸、掉头,5处轴孔及B端面均由长镗杆一次性加工完成,只要镗杆主轴精度没有问题,该6处尺寸、跳动度的精度可以得到保证。而A端面跳动在换长镗杆已经找正合格,尺寸虽然有0.1 mm余量,但因AB端面距离公差为±0.5 mm,仍处于合格范围内。因此所有跳动度、尺寸均满足了图纸要求)。

(16)在设备上等待三方见证;(以上过程均在设备上进行,不拆卸下机床。避免找正产生的误差)。

(17)拆卸工件。

(18)PT、VT三方见证;(产品PT、跳动合格后未进行任何加工,表面均是合格状态)。

(19)尺寸检查(由于水压实验可能导致尺寸涨型超差,但不影响装配使用,在设计允许范围内。将该工序置于水压实验前,并邀请三方见证,确保产品尺寸满足图纸要求)。

(20)水压实验(实验带来的磕碰划伤经和客户沟通,可通过抛光处理去除高点后让步接收)。

综上,此方案设计考量了精加工过程中可能出现的缺陷、见证问题,以及后续尺寸检查、水压等带来的种种不可控问题给出了解决方案。

3.4 工艺流程图

根据核电铸件的精加工要求,对以上工艺流程进行了优化和梳理,精加工工序的主要流程如图4所示。

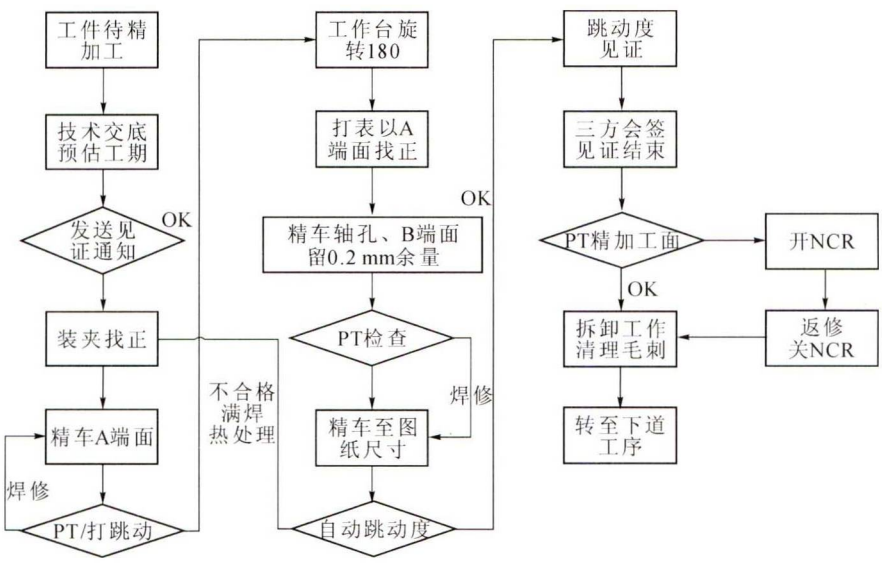

图4 主给水泵精加工工艺流程图

Fig.4 Finish machining process flow chart of the Main feedwater pump

4 实际生产情况

按照上述工艺方案共加工了6台主给水泵铸件。根据项目要求,邀请顾客、核电工程公司现场进行三方见证,前3台产品见证通过。后3台产品,顾客认为质量稳定,放弃见证。我司检验员自检6台产品均合格。跳动度三方见证如图5所示。6台产品半精加工PT偶有发现,小型缺陷数处至十数处,经维修处理后,精加工完三方见证验收合格。铸件关键尺寸和形位公差均符合图纸尺寸要求。精加工后水压实验一次通过。

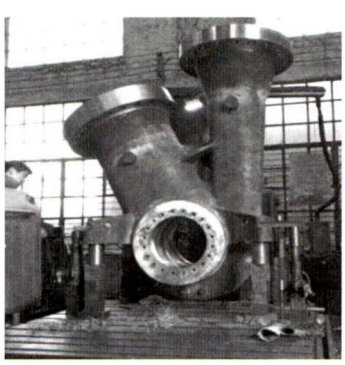

图5 主给水泵跳动度等待审核

Fig.5 Round runout of main feed pump to be audited

5 结论

该精加工方案通过生产实践检验,不仅满足产品的关键尺寸、行位公差满足图纸及设计的要求,而且能预防、处理铸造缺陷,保证见证一次通过,保证后续水压试验合格。方案制定成功。大型马氏体不锈钢铸件的关键部位加工过程中,难以避免铸造缺陷,需要逐工步留加工余量进行PT检查,避免加工到图纸尺寸后,没有焊修的余量。精密尺寸的终检应放在水压试验前,避免水压试验后精密尺寸变形检测不合格。水压试验导致的变形不应记为加工尺寸超差,该变形不影响装配使用,在设计允许范围内。

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,1974.