

球墨铸管退火炉运行稳定性与工艺管理研究

王振斌¹ 徐会省² 陈新兴²

1.河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司, 河南 安阳 455133

2.商丘师范学院, 河南 商丘 476000

[摘要]球墨铸管退火工艺是整个生产工艺中最后也是最重要的一个步骤,直接影响着球墨铸管的最终力学性能甚至金相组织,而退火炉本身的运转状况又直接决定了产品的质量水平、生产率高低以及耗能情况。文章主要围绕球墨铸管退火工艺的基本理论和工艺流程,在对退火炉设备结构、升温速率及气氛密封等进行详细论述的基础上,着重对影响退火炉运转状态的影响因素进行了分析。另外,还介绍了工艺参数配置、监控实施、工艺操作规程遵守以及质量信息传递等相关内容。最后,对设备预防性维修、工艺条件实时调整、节能降耗以及员工标准化操作四个方面提出提高退火炉稳定性的整体管理办法,以期对球墨铸管生产厂家改善退火热处理工艺、保证生产过程平稳顺利进行有所帮助。

[关键词]球墨铸管;退火炉;运行稳定性;工艺管理

DOI: 10.33142/ec.v9i3.19240

中图分类号: TG156.1

文献标识码: A

Research on the Operation Stability and Process Management of Ductile Iron Pipe Annealing Furnace

WANG Zhenbin¹, XU Huisheng², CHEN Xinxing²

1. Angang Yongtong Ductile Iron Pipe Limited Liability Company, He'nan Iron & Steel Group, Anyang, He'nan, 455133, China

2. Shangqiu Normal University, Shangqiu, He'nan, 476000, China

Abstract: The annealing process of ductile iron pipes is the last and most important step in the entire production process, which directly affects the final mechanical properties and even metallographic structure of ductile iron pipes. The operating condition of the annealing furnace itself directly determines the quality level, productivity, and energy consumption of the product. The article mainly focuses on the basic theory and process flow of annealing technology for ductile iron pipes. Based on a detailed discussion of the equipment structure, heating rate, and atmosphere sealing of the annealing furnace, the factors affecting the operation status of the annealing furnace are analyzed in detail. In addition, relevant content such as process parameter configuration, monitoring implementation, compliance with process operating procedures, and quality information transmission were also introduced. Finally, a comprehensive management approach is proposed to improve the stability of annealing furnaces in four aspects: preventive maintenance of equipment, real-time adjustment of process conditions, energy conservation and consumption reduction, and standardized operation of employees, so as to provide assistance to ductile iron pipe manufacturers in improving annealing heat treatment processes and ensuring smooth and stable production processes.

Keywords: ductile iron pipes; annealing furnace; operational stability; process management

球墨铸铁由于其良好的强度、韧性以及耐磨损的特点,在城市供水管道、天然气输送等各类高压管道方面得到了大量应用。球墨铸管的制作工艺繁琐,在各种热处理工艺当中,退火环节对于铸态球墨铸铁管产生最后完美的结构(铁素体基体+球状石墨)至关重要。该步骤一般在连续退火炉内进行,在一定的温度下进行加热保温及冷却操作来除掉铸态组织中的渗碳体,得到高强度的铁素体基体结构,以达到铸管符合国家规范及客户对力学性能的要求的目的。

退火炉是整个流程中的主要生产设备,其运转的可靠性决定了产品合格率高、节约成本、连续作业的前提条件,在生产过程中,退火炉经常会遇到不均匀的热场,炉膛内气体不稳定,设备陈旧,控制装置失灵等不利现象的发生,

这些问题都会造成铸管质量的一致性差、返修率高、耗能大还有停产的问题。所以研究球墨铸管退火炉运转可靠性的相关影响因素、构建完善的工艺管理机制对企业提高核心竞争力,进行精益化生产有着重要的作用^[1]。

1 球墨铸管退火工艺概述

球墨铸管的退火工艺主要是为了将铸态组织中的自由渗碳体分解成铁素体加石墨,以去除白口组织,使铸管获得良好的塑韧性。球墨铸管退火工艺一般包括三个阶段,分别为加热阶段、保温阶段以及冷却阶段,在加热阶段中,铸铁管从室温加热到共析转变温度之上,一般是 900~950℃左右;在加热的过程中要严格控制温速,防止由于过大的温差而造成铸铁管发生形变或者破裂现象;待铸铁管温度上升到所设定的温度之后转入到保温阶段;该阶段

主要的作用是让其中的碳元素得到充分的扩散,进而使得铸铁中的渗碳体会逐渐地转变成铁素体跟石墨,这就是所谓的第一阶段石墨化;保温的时间取决于铸管的壁厚以及所装入的数目以及炉子内的温度分布情况。一般情况下需要十几分钟到几个小时不等。研究表明,保温阶段的温度的变化以及保温时间都会影响到石墨化的程度。当温度偏低或者保温时间不够的话,会造成有渗碳体的留存,使铸管的伸长率大幅度下降。紧接着就是冷却过程了,这一步决定了铸管基体组织的种类,如果要得到的是铁素体基体,需要采用较低的速度的冷却,从而使奥氏体在冷却时析出石墨,经过共析转变,从而生成铁素体组织,而如果冷却的速度比较快的话可能会得到珠光体甚至还有可能是马氏体,这样就会使得铸管自身的韧性有所下降。所以退火炉的冷却部分一般都是慢速冷却的方式进行的,而且也可以通过改变吹冷或者辐射冷却的程度来进行调节冷却的速度。全部退火工艺曲线示意图见图1,这是一个以时间、温度为条件约束下的非线性的过程。

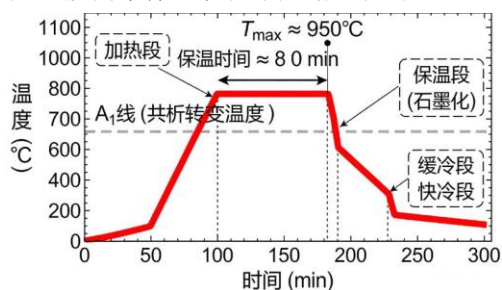


图1 球墨铸管退火工艺曲线示意图

2 退火炉运行稳定性影响因素分析

对于退火炉来说它的运行稳定与否也是一个复合性的概念,在这个概念中就包括了设备长期运行时能够持续的维持住所设定的一些工艺参数(比如温度,气氛,运行的速度)等不会发生改变的能力和抵御各种外界内界的抵抗能力等。造成的影响因素也有许多,主要有以下几点。

2.1 设备结构与维护状态

退火炉主体构造是由炉衬材料、炉辊、燃烧系统以及循环风机组成,是保证其正常工作的物质保障。炉衬的好坏关系到整个退火炉的保温效果及热效率大小,相关书籍提到当炉衬损坏或者老化之后会导致热量损失增大从而造成能源的损耗并且会使炉膛内部温度分布出现不稳定的现象,炉辊是支撑着铸管能够顺利流动的重要零件,一旦炉辊发生弯曲、结瘤或者是旋转困难等问题时都会导致铸管在炉内运转失稳,严重时会出现“卡管”现象而停止生产。燃烧系统中的烧嘴、换热器的损坏也会使得加热性能下降以及温度调节滞后。所以,机器自身的好坏及平日维护保养的程度,乃是保证其正常工作的基础条件。

2.2 温度均匀性与控制精度

温度是最主要的一个影响因素,在退火过程中温度的

高低及均匀程度会直接影响到铸管最终的组织结构是否一致,以及产品质量是否稳定。炉膛内的温度分布不均会造成在同一根铸管的不同位置甚至是同一批铸管之间因温度的不同而产生不同的热处理过程,进而导致最终的组织不同,造成铸管的质量不稳定。而温度控制精度是指控制系统对于设定温度的响应效果,大量的生产记录显示当退火保温阶段温度波动 $> \pm 10^{\circ}\text{C}$ 时,球墨铸铁管的金相组织中的珠光体量会有较大的区别,进而影响到铸管的抗拉强度、硬度等机械性能指标的变化。造成温度分布均匀性及可控性的主要原因有:火焰喷嘴分布形式、循环风机空气动力参数的选择、测量温度热电偶的位置和精确度、PID调节器整定值等。

2.3 气氛控制与密封性能

退火炉炉气条件直接影响到铸管产品质量是否达到要求。为了减少铸管表面氧化现象,在高温环境下,一般会在炉中充填保护性气体,比如氮气或者氢气或者RX气体。但是炉气成分、流速以及分布情况都会影响到铸管表面脱碳、氧化等各种表面缺陷的发生几率。所以炉子本身的密闭性能就是炉气可控的根本条件,一旦出现泄漏,外界空气就会进入炉内打破保护性气氛,使得铸管表面发生较为严重的氧化并生成不易清除的氧化层,进而影响产品的外观和后续的防腐措施^[2]。而且不合理的炉压控制还会使炉气排出,造成资源浪费与车间污染问题,还会有一定的危险性。所以在保证了炉内微正压,以及稳定的炉腔气氛条件下才能够得到合格的产品表面状态和较高的生产安全性。

2.4 自动化系统可靠性

目前大多数退火炉都是采用一体化自动控制系统的方式进行工作的,其主要包括PLC、DCS及上位机监视系统等。自动化系统性能的好坏直接决定了生产能否保持连续性以及工艺的操作是否精准。在系统发生故障时比如:测量仪表损坏、控制模块崩溃或者通讯线路断开等情况都会导致工艺指标异常波动甚至造成退火炉突然跳闸事故,据统计自动化系统故障造成的退火炉意外停车占到了非计划停车的30%以上比例,所以自动化系统硬件备份方案的安全可靠程度,软件代码的稳定性和抵抗外界环境因素的能力大小均关系到退火炉长时间可靠性的运行状况。

3 退火工艺管理关键环节

工艺管理是对生产过程中的各种工艺进行严格控制的过程,重点是如何做好对于整个工艺的精密化控制。

3.1 工艺参数标准化设定

标准化是工艺管理的前提条件,球墨铸管退火工艺必须针对不同口径,不同壁厚的铸管,编写统一的工艺参数表格,参数包括:各个区间温度数值及上下限值,加热区、保温区、缓冷区、急冷区等,炉内钢丝网带运转速度,影响保温时长,保护气流量大小,炉膛负压数值等。标准化设定的基础来自于公式推导、实验室实测以及大量生产实

践的经验总结。构建“壁厚-温度-速度”三位一体的工艺参数数组,可作为生产的参考,降低人工操作误差对产品质量的影响程度。

3.2 生产过程监控与数据采集

“无量化,难以管控”,健全的过程监测及数据分析系统(SCADA)是现代化生产工艺管理的关键所在。系统必须能够及时采集并保存退火炉各个重要部位的温度、压力、流量、轧制速度、能耗等相关信息,不仅要用于实时监视还要用于之后对生产数据进行分析,对生产工艺进行改进做准备。显示页面要清晰可辨的显示出实际的工艺曲线与预设的工艺曲线之间的偏差,在指标达到预警水平时可发出声光提示。如下表1所列,重要生产指标的检测周期与时警戒水平一定要定义清楚。

表1 退火炉关键工艺参数监控表示例

参数名称	采集点	采集频率	正常范围	预警上限	预警下限	控制措施
保温段温度	热电偶1~6	1次/s	940±5℃	950℃	930℃	调整烧嘴/风机
炉内压力	测压点A	1次/10s	10-20 Pa	25 Pa	5 Pa	调节排烟阀
辊道速度	变频器反馈	连续	1.2~1.8 m/min	-	-	与温度联动控制
气氛含氧量	氧分析仪	1次/30s	<50 ppm	100 ppm	-	检查密封/调节气源

3.3 工艺纪律执行与操作规范

再好的工艺规范也都需要在严格的执行下才能实现。工艺纪律规定工作人员要严格按照工艺的要求来进行加工,不能随意的对工艺参数做出调整。这是规范化点检程序例如炉体巡查,风机运转情况观察,规范的操作流程比如启停炉操作,故障排除等。还有规范化的交接班制度,加强工艺纪律的执行力度,建立起责任追究制度,是杜绝人为误操、保持工艺稳定的有力管理措施。操作规范应当把复杂繁琐的操作流程细化到简单易懂的操作步骤上并且定时的进行培训和测试。

3.4 质量反馈与工艺调整机制

工艺管理的目的在于产品的质量。制定及时有效的质量反馈体系可以及时找到工艺差错进行改进,这就需要质检部门(金相分析、力学性能试验)尽快把检验情况(珠光体百分比、伸长率、硬度)传递给工艺工程师。当出现质量问题时,工艺工程师应及时查看相应时间段的生产记录视频资料,判断是由于工艺参数偏移,还是出现了设备问题或是原材料的变化造成的,然后开始实施相应的工艺调节程序^[3]。一个完善的PDCA(策划-实施-检查-处置)管理体系能将质量问题从原来的“事后检验”变为现在的“过程预防”,不断改进工艺管理水平。

4 提升退火炉运行稳定性的管理措施

从上述结论出发,改善退火炉运转可靠性的对策应是

一个体系化的管理工作,涉及到设备以及工艺、能源还有人等方方面面的问题。

4.1 设备预防性维护体系构建

由“事后维修”转为“预防性维护”,才是保证设备长周期安全可靠运行的基础。要建立以点检为基础的预防性维护系统。首先要制定详细的设备点检标准,规定好点检部位以及项目,点检周期和方法,比如看、听、问等。其次根据设备的重要性以及以往出现过的故障情况来制定合理的检修计划,比如对炉辊轴承定期加油,对烧咀定期吹扫,热电偶定期标定,炉体定期做密闭试验等。建立设备档案,使用振动监测仪、红外线热像仪等高新技术手段对设备状态进行预见性维修,能有效地防止突发性的设备损坏。表2给出了退火炉主要设备预防性维护实例。

表2 退火炉关键设备预防性维护计划表示例

设备/部件	维护项目	维护周期	维护标准/方法	责任岗位
炉辊	轴承润滑、运转状态	每月	补充润滑脂,听音、测振	机械维护工
循环风机	叶轮平衡、电机电流	每季度	检查叶轮磨损,检测电流波动	电气维护工
烧嘴	清理、点火电极检查	每周	清理积碳,检查点火电极间隙	工艺/维护工
热电偶	精度校验	每半年	与标准热电偶比对,误差≤±2℃	仪表维护工
炉体	气密性检查	每年	炉压保压测试,泄漏点补焊	设备工程师
氧分析仪	零点/量程校准	每月	使用标准气进行校准	仪表维护工

4.2 工艺参数优化与动态调控

工艺参数不能固定不变,必须有自我调节的能力,在这个前提下首先要用大量已有的经验数据进行回归分析或者通过神经网络来构建工艺参数跟产品质量能耗的数学关系,然后在此基础上对工艺参数进行调整找到最好的“温度-速度-气氛”,同时也要采用新的过程控制系统,比如模型预测控制(MPC),根据实时的生产情况以及质量监测结果及时调节设定值,使控制更加准确有效比如烧结机因为环境的影响造成温度的变化,控制系统能够提前做出反应调节燃烧功率而不是在出现误差后才去调整,这样就大大降低了温度不稳定的情况^[4]。

4.3 能源管理与热效率提升

稳定性和节能相互促进着。不稳定的工作常伴随着大量的能耗消耗,例如反复开停机、大量的排气。所以加强能源管控也是提高稳定性的必要环节。具体来说就是以下几点:(1)改善炉体保温,经常测量炉体外表温度找出大量散热的地方修补好;(2)装置烟气余热回收器来使用烟气对助燃空气或者铸造管道进行预热达到节能减排的效

果；(3)改造燃烧系统，调整好空燃比例让燃料能够被完全燃烧从而减少化学不完全燃烧造成的损失；在节能减排的同时可以节约一定的生产费用还可以因为减少了炉内热量变化带来的负面影响从而间接地提高了热工系统工作的稳定性。

4.4 人员培训与标准化作业推行

所有的管理办法都要落实到人身上去。所以人才素质及能力培养尤为重要。要构建系统的教育平台，根据不同工种进行分门别类教育培训，对工艺工程师、操作工、设备维修工分别进行相关培训；培训的内容要有：退火机理知识，设备构造及其运行机理，自控系统的使用方法，设备常见故障排查及排除技巧，安全管理要求等。同时推广标准化的操作模式，在日常工作中将各种操作流程、检测指标以及应急预案整理为图文并茂的标准操作程序文件(SOP)，并张贴或放置在易于获取的地方。开展经常性的技能比赛、应急演练及经验交流等方式，加强职工的操作技能水平以及风险意识的提高，保证各工序工艺纪律以及管控措施能够落实到位。

5 结束语

球墨铸管退火炉的运行稳定性是综合性问题，在很大

程度上取决于硬件设备的性能和可靠性以及合理的精细化的工艺管控。本文对影响稳定性的几个主要方面进行了研究，即设备保养及维修、温度控制、气氛调整以及自动控制系统并对其中的关键环节进行讨论，最后提出建立预防性维护机制、开展工艺调整优化、强化能耗管控、推行作业标准化的综合管控措施来保障其稳定运行。将来借助工业互联网和大数据的发展，实现自动化控制和预警式维护将是提高运行稳定性的又一重要方向。

[参考文献]

- [1]林雪川,梅燕娜,要晓瑞.球墨铸铁管壁厚均匀性工艺设备技术研究[J].中国铸造装备与技术,2023,58(5):92-96.
- [2]陈浩,韩爱学,黄帅.DN80 球墨铸铁管工艺改造[J].山西冶金,2021,44(6):201-202.
- [3]韩忠冠,李昌盛,赵磊.球墨铸管非接触电磁测厚系统创新设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2026,44(3):93-96.
- [4]蒿润涛,杨磊.浅谈铸管生产线数字化工厂建设[J].中国铸造装备与技术,2024,59(5):101-106.

作者简介：王振斌（1994.3—），毕业学校：东北师范大学，所学专业：行政管理，当前就职单位：安钢永通球墨铸管有限公司，职称级别 助理工程师。