

## 球墨铸铁管生产过程数字化管理研究

靳国明 朱彬 吴浩

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

**[摘要]**球墨铸铁管凭借高韧性、优良的延展性能以及较强的抗腐蚀性而被广泛用于给排水, 输水燃气管道, 以及一些工业管道中。传统的制造工艺依靠经验进行管理并且采用手工作业的方式, 效率低下且产品容易出现质量问题, 造成了严重的资源浪费, 随着工业 4.0 以及智能制造时代到来, 在生产过程中应用数字化管理能够有效提高生产的效率, 保证产品品质并节约能源消耗。文中围绕球墨铸铁管的生产工艺流程, 探讨物联网、大数据以及数字孪生等关键技术的应用, 提出一种数字化生产管理系统方案, 对数字化管理系统在整个生产过程中的运用进行了详细的分析。通过研究发现, 数字化管理模式可以做到对生产过程进行实时监测, 同时做出智能化的判断, 进行产品质量追踪, 并进行精益化的管理, 从而提高了整体的生产效率以及产品的质量水平, 为企业发展提供了新的出路。

**[关键词]**球墨铸铁管; 数字化管理; 智能制造

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18830

中图分类号: TG24

文献标识码: A

### Research on Digital Management of Ductile Iron Pipe Production Process

JIN Guoming, ZHU Bin, WU Hao

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

**Abstract:** Ductile iron pipes are widely used in water supply and drainage, water and gas pipelines, and some industrial pipelines due to their high toughness, excellent ductility, and strong corrosion resistance. Traditional manufacturing processes rely on experience for management and adopt manual operations, which are inefficient and prone to quality problems, resulting in serious resource waste. With the advent of Industry 4.0 and intelligent manufacturing era, the application of digital management in the production process can effectively improve production efficiency, ensure product quality, and save energy consumption. The article focuses on the production process of ductile iron pipes, explores the application of key technologies such as the Internet of Things, big data, and digital twins, proposes a digital production management system solution, and provides a detailed analysis of the application of the digital management system throughout the entire production process. Through research, it has been found that the digital management model can achieve real-time monitoring of the production process, make intelligent judgments, track product quality, and implement lean management, thereby improving overall production efficiency and product quality levels, providing new avenues for enterprise development.

**Keywords:** ductile iron pipe; digital management; smart manufacturing

### 引言

球墨铸铁管作为市政工程建设的重要载体, 铸造产量和质量直接影响着城市的供水排水以及工业管道的安全, 然而传统的生产工艺管理模式存在着工艺依靠经验、数据反馈缓慢、质量无法及时追溯等问题, 阻碍企业发展, 限制整个行业的健康发展; 随着智能制造的理念深入人心, 物联网、大数据、数字孪生体、自动传感器等为生产管理带来了新的方式。利用信息化对整个生产全流程进行监测、分析和改进, 可以提高工艺的稳定性、产品的均一性、减少能耗和投入成本、提高企业的市场响应速度。针对这一问题, 本文系统的研究了关于球墨铸铁管生产过程信息化管理模式的相关理论和应用, 探索了数字化方式对于球墨铸铁管工艺流程的改进作用以及在效率提升、质量管理和降低成本方面的实际效用, 以为行业的发展提供借鉴。

### 1 球墨铸铁管生产工艺概述

球墨铸铁管生产流程是数字化工厂的研究基础, 主要生产工序主要有备料、熔炼、球化处理、浇筑、铸造、热

处理及退火、清整及喷漆、检测等环节组成。在备料环节不仅要选择优质生铁、废钢以及球化剂, 而且还需要对原材进行化学成分、含碳量、含硫量和杂质含量等的测定和配比设计, 以便为下步熔炼提供可靠稳定的原料基础; 熔炼、球化环节决定了球墨铸铁管的力学性质、金相组织是否良好, 需要严格把控好熔炼的温度与球化剂加入量和反应的时间, 进而实现球墨化程度高, 金相组织分布均匀, 使得球墨铸铁管道材料强度大、韧性好、抗腐能力强的效果; 在浇筑、铸造环节涉及到的是模壳温度控制、浇筑速度以及浇筑通道的设计, 这些工艺上的合理与否影响着铸件致密度、气泡和缺陷的程度, 同时决定着管材的表面质量和尺寸质量; 在热处理、退火环节主要是通过对球墨铸铁管进行加温、保温一定时间和慢慢降温来消除管道内应力和调整组织结构, 使得管材具有良好的力学性质和稳定性, 能够达到使用需求。在清整及喷涂环节是对铸件表面进行打磨抛光、喷刷防锈漆、尺寸和力学性能测试等来保证球墨铸铁管道成品满足国家标准和客户的要求。需要指出的

是,传统球墨铸铁管生产工序各环节信息化水平较低,生产过程中依靠人工经验判断和定期测量的方法容易导致产品质量不稳定,原材料的消耗较大,同时无法做到生产过程中的及时优化调整和智能化管控等问题,这也更加显示出了数字化工厂的应用需求和发展前景。在数字化工厂的基础上,采用体系化、数据化的管理模式可以实现从生产到出厂全过程可视化、可回溯、精准化管理的目的,为球墨铸铁管厂家提高生产效益和产品质量提供技术支持。

## 2 核心数字化技术

### 2.1 物联网 (IoT)

物联网技术应用于球墨铸铁管制造中起主导关键的作用,主要是用来监测和采集重要设备、工艺参数的实时数据,在熔炼炉、浇注系统、退火炉及成品检测装置等处布置大量的温度、压力、流量、振动、气体浓度等各种类型传感元件,做到对球墨铸铁管生产全流程监控。传感元件采集来的大量数据均实时上传到管理平台服务器,让生产过程可视化、生产数据可追溯化,而物联网系统不仅可以实时呈现各类设备的状态参数、工艺参数等,还可以进行数据分析识别异常状况,触发报警、安全连锁等功能,帮助工人做出及时处理措施,大幅减少了人为干预操作次数和危险程度。另外,物联网也可以对生产设备做远程监控与智能诊断,通过设备工作状态及以往运行记录来预判故障发生可能及时间,安排检修计划,减少停机率,保持连续生产。搭配数字管理系统,物联网的数据收集还可以为基础生产工艺、质量管控、能耗管理等工作开展提供参考依据,球墨铸铁管制造全过程既高效有序又智能可控,为建设精密化、可追溯式的持续发展的生产管理系统打下坚实的技术基础。通过应用物联网技术,企业能完成由传统经验判断向数据引领决策的转变,增强生产效率、产品质量稳定性及综合竞争实力。

### 2.2 大数据分析可视化

而对于球墨铸铁管的生产,则存在着大量的生产数据需依靠大数据技术对这些数据加以整理计算,通过大数据的方式清洗、建模并分析出熔炼温度、浇注速度、退火曲线以及成品检测等数据从而挖掘出生产规律,预报产品质量风险,为生产工艺参数调整提供参考依据,而可视化技术将大数据运算的结果转化为图形、图线以及实时监控看板的形式展现出来让管理者更清晰地了解到球墨铸铁管生产线上的情况和存在的问题,便于管理者作出更快捷有效的决策。大数据结合可视化技术让球墨铸铁管的生产由传统的靠经验到如今依靠数据来进行管控,为精益化生产提供助力。

### 2.3 数字孪生技术

数字孪生技术通过构建与现实生产基地相同或相似的数字模拟基地,在生产线上对球墨铸铁管生产工艺各环节包括熔炼工艺、浇注工艺、热处理工艺和退火工艺进行全流程的数字化模拟仿真、优化以及预测管控,通过对生产过程中输入实际生产参数以及设备运行状态,数字孪生模型可以实时显示球墨铸铁管生产时内部的温度场、化学反应、应力及相变情况,并可预测球墨铸铁管生产工艺的

不同方案下对产品的品质及力学性能以及对设备使用状态的影响情况,从而辅助企业进行最佳工艺方案的选择。这项技术不仅可以应用于生产工艺设计时进行参数调整测试模拟实验,还在生产过程中对出现的情况进行虚拟调试,以避免生产工艺上的失误造成的产品缺陷甚至报废,减少了企业的生产试错成本以及生产原材料浪费和能源消耗。而且数字孪生技术可以同物联网信息系统和大数据平台相连接,通过现场实时监测的传感器采集的数据定期更新虚拟模型,以保证虚拟模型与实际生产线的高度一致,进而对整个生产线进行实时监控及预测,帮助公司合理安排生产进程以及调整相应的生产工序,提高球墨铸铁管产量的同时也保障产品质量的一致性,并能迅速应对现场突发状况,增强应对突发事件的能力,提高了生产线灵活应变能力和安全保障度,为企业提供一个智能化、规范化、可持续性发展的技术支持手段。此外数字孪生也为企业生产管理者提供了一个可视化的操作平台,使得原本复杂的生产过程控制变得直观便捷,便于科学精准地管理决策,促进了企业从传统的经验模式管理方式到基于数据分析的智能化管理模式转变。

## 3 球墨铸铁管生产数字化管理体系构建

### 3.1 数据采集与实时监控系统

数据采集及实时监测系统是球墨铸铁管数字化管理系统的重要单元,其通过对熔炼炉、浇注系统、退火炉、热处理系统、产品检测等工序进行全过程、不间断的数据采集,实现实时监测球墨铸铁管生产的关键工艺指标和设备运转状况。熔炼过程中系统实时监测炉体温度、金属材料成分含量及球化剂加入数量,在浇注环节中实时监测浇注时的温度、速率及压力,热处理和退火过程中实时监测温度变化曲线、保温时效等。所有采集的数据经由工业以太网、无线传感器网络或采用专门的工业通讯协议上传到数据中心管理平台并对整个生产流程进行可视化管理。该平台不仅能实现实时数据显示而且可自动计算判断出工艺偏离或设备异常,发出警示消息和处置方案供现场操作员即时介入干预减少工艺偏离、设备异常造成的质量问题和安全事故的发生概率。此外还可保存历史数据用于后期分析,开展趋势预测、生产绩效统计和工艺改良分析等为生产决策提供参考。基于物联网、大数据分析、数字孪生技术的数据采集及实时监测系统可以为生产过程的自动化控制、合理排产和预见性保养维护等工作提供有效支撑,提升生产的灵活性、产品质量的一致性和资源利用效率,实现球墨铸铁管生产线由传统的依靠人工经验管理方式转变为精确化、智能化的管理模式,为企业建立高效率、可持续发展性的数字化生产基地提供了可靠的技术支持。

### 3.2 工艺优化与智能决策支持

工艺优化与智能决策支持系统是球墨铸铁管数字化管理系统的核心部分之一,通过对生产工艺中收集到的实时生产数据和数字孪生模型进行数据分析,达到生产工艺的精确调整以及对生产决策提供智能化的支持作用,在化钢工序中可依据温度的变化、化学元素的变化和孕育剂反应

的情况,对化钢的温度、保温的时间进行动态调节,保持石墨球化率、金相组织均匀;在浇铸和铸造工序中会模拟出浇铸速度、浇铸温度以及模具填充程度等,给出最优的自动化解决方案,减少气孔和缩眼、表面裂纹等缺陷;在退火处理工序中智能化决策系统会对温度曲线、恒温的时间、冷却速度进行分析,得到合适的退火曲线从而达到内应力消除和组织均匀的目的,提高管道韧性耐腐蚀性能。系统具有对历史数据和实时监测的风险预判能力,可提前预知生产工艺出现偏差、生产设备出现故障以及异常能耗等,自动生成改善措施供管理人员参考做出正确合理的判断,工艺优化与智能决策支持结合物联网技术、数据采集技术和数字孪生技术使得生产工艺过程中的各参数更易控制、更准确,提高了生产效率、节约了能源利用率的同时减少了生产的成本和产品生产过程中的质量波动,使整个生产线形成闭环的优化管理和智能管控模式,确保产品质量稳定和安全生产,为企业转型升级为高效节能型智能制造模式提供了强有力的技术支撑以及有效管理模式。

### 3.3 质量管理数字化方案

质量管控信息化方案依托成品检验、数据分析以及可追溯体系达到全程的质量管控。基于线上传输尺寸测量结果、力学实验数值、金相照片等信息,配合数据分析与预警措施可以保证生产出来的每一炉料都能够达标。除了提高质量管控效率之外还为产生质量问题的原因分析以及整改提供数据支持,从而使得企业可以做到不断地质量优化提升。

### 3.4 能源与成本管理数字化策略

能源及成本控制策略基于对电能、燃料与原料耗用的在线监测及数据分析,在此基础上合理安排分配并高效利用资源<sup>[1]</sup>。由数据指导生产排程以及工艺改进,减少能耗以及生产成本的同时也提升了工作效率。这种策略可以令企业的绿色生产以及经济效益共同增长,为企业可持续发展保驾护航。

## 4 球墨铸铁管生产过程数字化应用分析

### 4.1 熔炼与球化过程的数字化管理

熔炼及球化工艺是球墨铸铁管性能生成的关键步骤,它的智能化管理利用传感器监测炉温和化学成分以及球化剂加入量,基于数据分析调整生产参数以确保石墨球化率以及力学性能相对稳定<sup>[2]</sup>。智能化管理在提升工艺精确的同时降低人工作业差错,增强生产一致性以及产品质量,为生产全流程智能管控提供支撑。

### 4.2 浇注与铸造过程的数字化控制

浇口及铸造过程的数字化控制基于模温、浇注速度以及凝固速度的检测以达到对工艺参数优化,流道设计改善的目的,从而优化管材的密度以及表面质量。数字化监控可以第一时间捕捉到异常浇注状况,并做出工艺参数修正,降低铸件废品率,加快生产节拍,为公司生产出高品质的产品保驾护航。

### 4.3 热处理及退火过程的智能化监控

热处理与退火工艺的智能监测以温度曲线进行管理、准确把控保温时长并采用数字化仿真模拟的方式对钢管进行微观组织调整以及内应力消除<sup>[3]</sup>。智能检测可以实时监测炉内的环境参数并且依据预测模型来进行控制,使产品的塑性和抗腐蚀能力均一化,为公司带来高品质稳定的保障。

### 4.4 成品检测与质量追溯数字化应用

成品检验质量追溯数字化运用利用自动化检测设备全程检验尺寸、力学性能及微观组织状况,建立信息化追踪记录档案,所有生产的异常均可以追溯到具体的生产过程,对出现问题的原因分析、生产工艺优化以及产品质量提升都有所助益,实现整个生产过程的闭环式管理、不断改善。

### 4.5 数据驱动的生产优化与精益管理

数据驱动的生产优化与精益管理是基于对整个熔炼、浇注、退火以及成品检测的数据进行深度挖掘从而达到生产计划排产,工序精益管理和资源最优分配的目的,数据分析可以找到生产的瓶颈和浪费环节并给出解决方案,让生产效率以及资源利用率到达最高峰值,减少能耗以及成本投入,达到高效、绿色、智能的生产管理模式。

## 5 结语

综上所述,球墨铸铁管生产线数字化管理系统以物联网、大数据处理、数字建模、智能化控制为基础,对整个生产过程进行实时监测并优化生产操作参数,跟踪产品质量,实施精益管理,提高了产品的一致性和可靠性,提高了工作效率,节约了能源消耗和生产支出,节约了原材料,做到了节能环保,绿色生产;研究结果表明,数字化管理系统应用于球墨铸铁管生产线具有很高的应用价值,是企业迈向智能化升级高质量发展的重要技术支持与管理手段。今后随着生产工艺的发展和完善,数字化管理系统会更加精细、智能以及环保,为球墨铸铁管行业的发展保驾护航。

### [参考文献]

- [1]王志刚.离心球墨铸铁管安装施工工艺[J].建筑设计及理论,2016,22(10):8-25.
  - [2]官景文.球墨铸铁管离心内衬工艺装备[J].铸造工程,2023,47(1):81-85.
  - [3]罗亚波,汤义波,卢瑞彬,等.离心球墨铸铁管渗漏机理分析及预防措施[J].中国金属通报,2024,5(1):160-162.
- 作者简介:靳国明(1991.4—),毕业院校:焦作大学,所学专业:工商管理,当前就职单位:安钢永通公司,职务:铸管二车间总值班长,职称级别:助理工程师;朱彬(1991.7—),毕业院校:郑州工业应用技术学院,所学专业:计算机应用技术,当前就职单位:河南钢铁永通球墨铸铁管公司,职务:铸管二车间离心机丁班班组长,职称级别:助理工程师;吴浩(1994.6—),毕业院校:周口师范学院,所学专业:市场营销,当前就职单位:河南钢铁永通球墨铸铁管公司,职务:铸管二车间值班长,职称级别:助理工程师。