

消失模铸造产品全生命周期管理系统设计

王晓东<sup>1</sup> 赵志诚<sup>1</sup> 刘红兵<sup>1</sup> 杨 锐<sup>2</sup>

(1.太原科技大学电子信息工程学院; 2.山西华恩实业有限公司)

**摘 要** 针对铸造企业产品生产过程中普遍存在的生产过程难以控制、产品品质难以量化、产品信息难以追溯等问题,设计了一种铸造产品全生命周期管理系统。该系统建立了以产品模号唯一码为索引的数据库,通过将其与生产过程数据进行绑定,以及基于 Inteli-IEDA 开发平台设计的数据采集接口,实现了生产过程数据自动采集;利用组态技术和 PLC 技术建立了浇注监控系统,通过可视化监控平台实现了对浇注过程的实时监控。目前该系统在消失模铸造企业得到验证,借助该系统,企业实现了对存在质量隐患的生产工序进行优化改进,提升了设计与生产效率,加强了品质管理。

**关键词** 铸造产品;全生命周期管理;生产数据追溯;模号唯一码

**中图分类号** TP273;TP311

**文献标志码** A

**DOI**:10.15980/j.tzzz.2021.03.024

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Design of Life-cycle Management System for Lost Foam Casting Products

Wang Xiaodong<sup>1</sup>, Zhao Zhicheng<sup>1</sup>, Liu Hongbing<sup>1</sup>, Yang Rui<sup>2</sup>

(1.School of Electronic and Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology; 2.Shanxi Hua'en Industrial Co., Ltd.)

**Abstract:** Aiming at the common problems that the production process is difficult to control, the product quality is difficult to quantify, and the product information is difficult to trace during the production process of casting enterprises, a casting product life-cycle management system was designed. In the system, the database indexed by module number unique code was established, which was bound with the data of production to realize the automatic collection of production data based on the data acquisition interface designed by InteliI IEDA development platform. The casting monitoring system was built up by configuration and PLC technology, and the real-time monitoring of the whole pouring process was realized through the visual monitoring platform. At present, with the help of the system which was verified in EPC enterprises, the production process with potential quality hazards was optimized and improved, increasing the efficiency of design and production and strengthening the quality management.

**Key Words:** Foundry Products, Life-cycle Management, Production Data Traceability, Mold Number Unique Code

目前,许多铸造企业自动化和信息化程度较低,大多依靠传统手工进行数据录入、分析和统计,信息采集的利用率低,反馈信息少,无法满足生产过程自动化需求,同时生产过程的信息缺失导致产品溯源困难<sup>[1~3]</sup>。

为解决上述问题,增强产品数据管理能力,研究者进行了较多研究。JI X Y 等<sup>[1]</sup>总结了精密铸造企业数字化管理方面的 3 大共性,提出了基于主-子卡模式的生产过程跟踪卡技术,基于条码的车间现场生产工艺、加工工艺以及设备数据集成技术。SANGWOO P 等<sup>[2]</sup>提出了基于物联网的智能工厂,并利用系统收集的数据

分析了铸件参数对其品质的影响,建立并验证铸件参数与产品品质之间的关系。王雅君等<sup>[3]</sup>提出了产品全生命周期管理屋,详细论述了各个阶段间的联系,面向大型机械设备建立了全生命周期管理系统框架。周奇才等<sup>[4]</sup>提出了流程优化与巩固 Eraser-SDCA 方法,对原有业务流程进行优化,并在运行中进行巩固,经过实际检测能有效提高生产效率和产品品质。张瀚青等<sup>[5]</sup>针对砂型铸造企业质量追溯困难,提出了串并联式质量追责追踪模型,解决了缺陷铸件批次追踪与处置困难的追溯难题,并强化了铸件缺陷的原因追责,为铸造企业加

收稿日期:2020-09-15;修改稿收到日期:2020-10-21  
基金项目:山西省重点研发计划资助项目(201803D121025);山西省留学人员科技活动择优资助项目(2020005)  
第一作者简介:王晓东,男,1995 年出生,硕士研究生,太原(030024),E-mail:2757401459@qq.com  
通信作者:赵志诚,男,1970 年出生,教授,太原(030024),E-mail:zhzhich@126.com  
引用格式:王晓东,赵志诚,刘红兵,等. 消失模铸造产品全生命周期管理系统设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(3):372-378.  
WANG X D, ZHAO Z C, LIU H B, et al. Design of life-cycle management system for lost foam casting products[J]. Special Casting & Non-ferrous Alloys, 2021, 41(3):372-378.

强质量追溯管理提供参考。李存荣等<sup>[6]</sup>建立了智能制造生产管理系统,实现了生产过程可视化和设备管理数字化。在上述生产管理和信息追溯系统中大部分只是建立了一个或多个独立的信息子系统,而产品整个生命周期中的环节存在复杂性、异域性和独立性,这将导致绝大多数误操作和原料的浪费以及成本提高。因此需要从产品的整个生命周期角度出发,建立产品从原材料加工至成品的完整的生产数据追溯体系,同时利用生产过程数据促进产品进一步优化,并能够为人员管理系统提供参考<sup>[7~10]</sup>。

本课题针对消失模铸造企业的铸件生产过程,设计了一种铸造产品全生命周期管理系统。该系统通过自定义编码规则,生成产品模号唯一码,建立以产品模号唯一码为索引的数据库;并将模号唯一码与生产过程数据进行绑定,实现了生产数据自动采集;通过可视化实现了对生产全过程的实时管控;通过对生产数据进行实时分析可实现对产品品质及生产工序进行优化改进,提升了企业的生产管理和信息化水平。

## 1 企业生产工艺和管理现状分析

### 1.1 生产工艺

消失模铸造生产工艺流程见图 1。

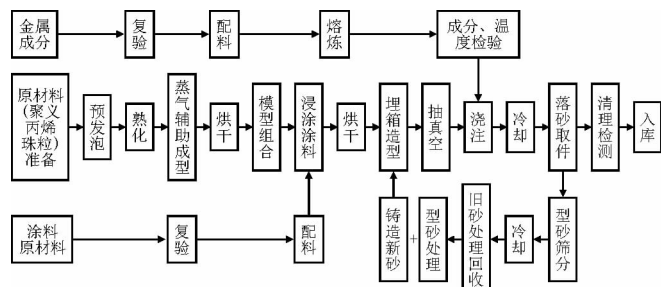


图 1 消失模铸造生产工艺流程图

Fig.1 Flow chart of EPC production process

### 1.2 生产管理现状

由于消失模产品种类较多,复杂程度不一,精密度和重要度不同,人员的参与度高,使得铸件在生产过程中存在如下问题:①设备档案不完善;②信息采集方式落后,生产过程数据分散;③信息反馈不及时,无法形成内部共享;④日常工作安排执行不到位,缺乏有效监控;⑤存在因备品、备件不到位影响维修的情况;⑥信息孤岛明显。

## 2 产品全生命周期管理系统

### 2.1 系统架构

以铸造产品全生命周期管理为核心,构建生产数据

追溯体系,实现产品各工序数据信息的实时采集和准确分析,达到生产过程实时跟踪、监控以及工序故障及时发现、处理的目的,推进智能化生产管理。

系统架构见图 2,该系统由感知层、网络层、数据存储管理层、应用层组成。感知层中包含了各工序的物料清单、人员信息、设备状态、产品信息、射频识别(RFID)数据、仪表数据以及 PLC 的控制量等;经数据处理后采集到的信息经网络层传输至数据存储管理层进行存储,并通过描述统计对数据进行统计和分析,透析数据背后隐含的信息;其次,实时生产数据以及经分析后的数据将为应用层提供真实可靠的数据支持,实现生产过程的实时监控、故障诊断、品质追溯等功能<sup>[11,12]</sup>。

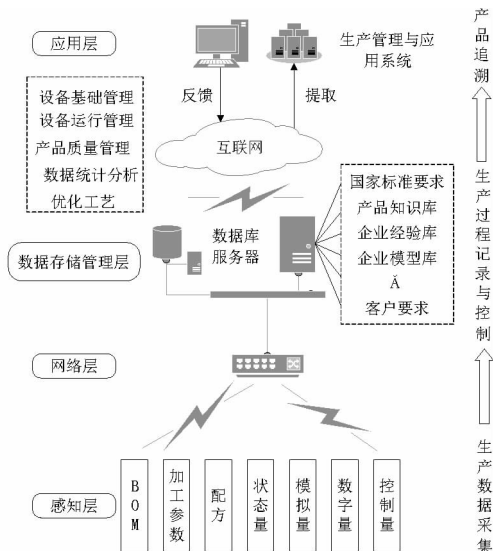


图 2 系统架构

Fig.2 System architecture

### 2.2 生产数据采集

实现产品全生命周期管理需要有真实可靠的生产数据做支撑,生产过程数据的采集包含了工序、状态、人员、原料、设备、环境和时间等信息并与白模和铸件上面的唯一码进行绑定,同时将它们有机地联系起来<sup>[13]</sup>。生产过程数据采集方法见图 3。

具体步骤如下:首先,当白模在组合结束后通过手持 PDA 将白模上的模号唯一码录入到系统当中;其次,在之后的挂涂、造型、浇注等工序中操作人员系统在系统上完成相关操作,实现模号唯一码与工序信息、人员信息、工时信息、物料信息等生产基础数据的绑定;最后,利用在铸件质检环节中,完成产品的性能测试,包括品质数据采集、判断和保存。生产过程数据采集所用到的设备包括手持式扫码枪、固定式条码扫描平台、手持 PDA、RFID 读写器以及标签、温度传感器、压力传感器、质检设备及相关设备附带的软件测试系统等。

RFID 利用无线电波可以在不接触的情况下实现

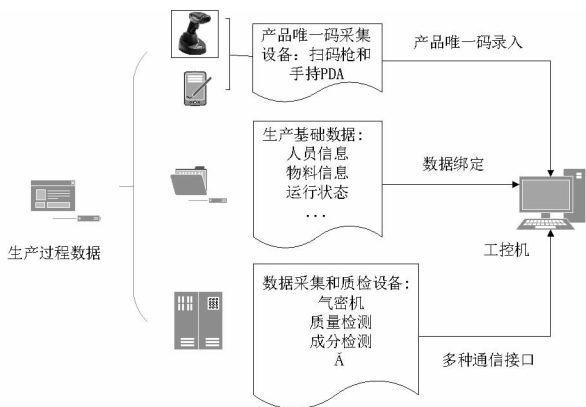


图 3 生产过程数据采集方法示意图

Fig.3 Schematic diagram of data acquisition method during production process

信息的快速交换和存储。RFID 主要由读写器和标签构成,读写器的视频信号在周围形成了磁场,当标签进入磁场范围后,标签内的信息会以一定频率的信号发射出来。其中 RFID 技术主要用于获取砂箱位置,每一个砂箱底部设置有 RFID 标签,标签中存储有砂箱的唯一编号,在浇注线入口处设置有 RFID 读写器,进入浇注线的砂箱都会被 RFID 读写器读取到砂箱号,通过排序即可知道砂箱位于浇注线的具体位置。

### 2.3 网络架构

为了保证各个车间、分厂以及和合作伙伴间的数据交互安全、稳定,同时也为了在 B/S 架构体系下管理人员可随时随地查看企业的生产运行状况,采用了 VPN 的通讯方式,既满足了数据在网络上的安全传输要求,也使得企业能够实时对生产过程数据进行管理和分析,以便灵活调整生产。其网络架构见图 4。

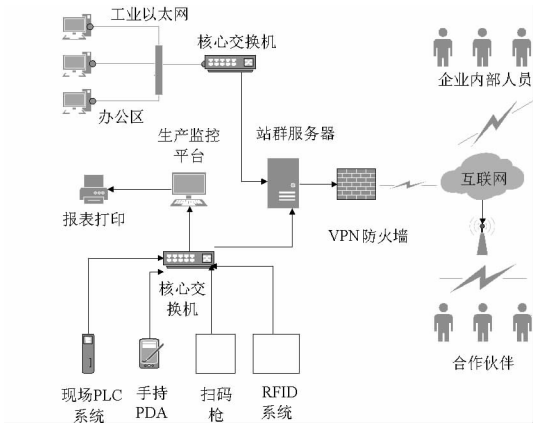


图 4 系统网络拓扑结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of system network topology

企业内部整个数据传输体系可以分为上层信息管理网络和子系统网络。上层信息管理网络采用冗余千兆以太网,采用 48 口的工业级交换机,并且和子系统间采用以太网通信。此外,基于 InteiJ IDEA 平台利用

Java 语言,设计了基于 Modbus TCP 协议的数据接口,减少了因不同控制器厂商通信协议不同造成数据采集繁琐、传输速率低等问题,实现了底层控制器和上层管理系统之间的数据交互。

Modbus TCP 协议的端口号为 502,是目前在仪表与自动化行业中唯一被分配到的端口号,因此应用范围和认可度高。Modbus TCP 数据帧由报文头 MBAP、功能码和数据 3 部分构成,与 Modbus RTU 相比不再带有 CRC 校验和设备地址。

各子系统间主体网络采用星型网络,局部采用 AP Client 进行组网以实现移动设备联网。企业内部人员以及合作伙伴可通过 VPN 专用通道访问企业内网,进而减少网络攻击和网络入侵。

无线模块在使用过程中受环境干扰影响大,在工况条件恶劣的环境中使用 AP-Client 模式组网时,需使得周围的噪音低于 -95 dBm,此时数据传输速率能保持在低延时状态,高于 -90 dBm 则数据丢包严重,影响数据传输。

### 2.4 数据存储和管理

数据存储和管理层为系统提供数据存储管理以及数据统计和分析,包括实时历史数据库、系统管理数据库,对采集的设备状态参数进行数据转换,对产品生产数据进行数据梳理和选取。其中,系统管理数据库为关系型数据库 MySQL,采用 InnoDB 存储引擎,为了提高检索速率,采用作为聚集索引的主键索引。

### 2.5 应用层设计

应用层负责产品全生命周期管理系统的各项应用,如设备状态监控、数据查询以及质量追溯等功能。以浇注监控系统为例,介绍全生命周期管理系统的具体应用实现方式。

图 5 为浇注监控系统结构图。该系统以组态软件 Mcgs Pro 作为监控系统开发平台,对采集的设备运行状态、工艺参数等数据进行显示,对分布式网络下 PLC 采集的设备运行状态和处理后的数据进行深层次地解析,实现了浇注监控系统的实时信息显示、历史数据查询等功能;此外,为防止不合格的产品流入下一道工序,每个工序都进行防错措施,利用全生命周期信息交互平台,将采集的数据与基准值进行比较,可以直观地判断采集的数据是否合格,合格则保存数据并进行下一工序,不合格则进行报警提示,以提高产品品质<sup>[14]</sup>。

通过全生命周期数据链来追溯产品的历史、使用情况或所处位置等信息,出现问题时通过正向追溯确定缺陷产品的去处并及时召回,通过反向追溯发现出现错误的环节找出责任点并及时修正,在设备使用过程中对其

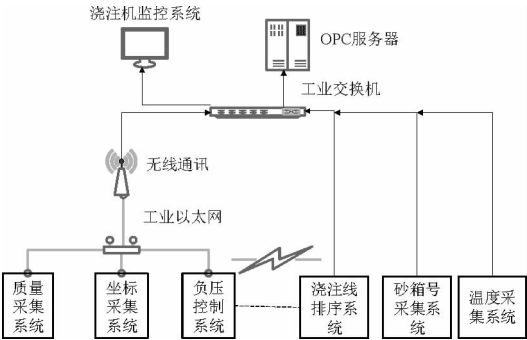


图 5 浇注监控系统结构图

Fig.5 Structure chart of casting monitoring system

进行状态监测、故障诊断、预测评估以及远程维护，在事故发生前采取措施。

3 产品全生命周期管理系统实现

以铸造产品全生命周期管理为核心,实际生产应用中实现了从计划排产、生产过程监控、质量检测到信息追溯等完善的管理体系。结合消失模铸件的具体生产过程对系统各功能模块及系统实施过程进行阐述。图 6 为系统实现流程图。

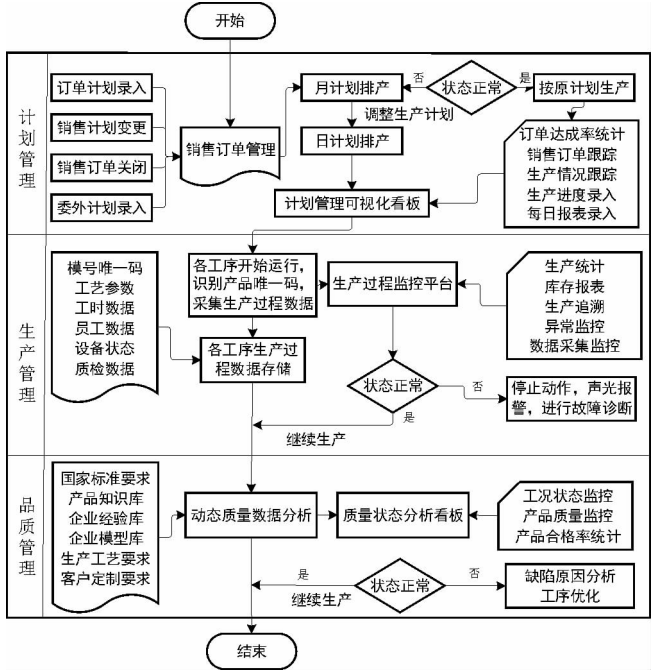


图 6 系统实现流程

Fig.6 Flow chart of the system implementation

计划管理根据企业的销售订单制定销售生产任务计划。主要实现流程是:根据每日新增的销售订单、变更的销售计划和委外计划管理销售订单并调整当月计划排产、当日计划排产,将生产任务下发至各个工序具体的工位上;在生产时利用基于生产工艺流程图的可视化看板,实现对各个工序的生产情况跟踪、生产进度录入、报表录入、订单达成率统计和销售订单跟踪,同时根

据现场实际情况对生产任务进行动态调整。

消失模铸件生产过程可分成 4 阶段:白模制作、挂涂、造型和浇注,按照生产计划对生产活动进行科学管理,监控生产过程的每道工序。主要实现流程是:每道工序的生产依照下发的生产任务进行,在操作完成后会将产品的模号唯一码与员工信息、工时信息、质检数据以及产品相关的状态量、数字量和模拟量进行捆绑,便于后期进行数据追溯,同时将生产过程数据存储于实时数据库中;利用生产监控平台实时监测采集到的数据,并进行生产统计和库存更新;若采集到的数据不符合工艺要求或生产设备出现异常,则进行声光报警,等待查明问题并处理之后再进入下一道工序。

信息追溯系统包括产品、人员和品质追溯 3 部分,系统采用 B/S(浏览器/服务器)构架,后台数据库系统为 MySQL,利用结构化查询语言 SQL 进行数据库管理。开发平台如下:开发工具选用基于 Java 的可扩展开发平台 IntelliJ IDEA;数据访问层和逻辑层分离,实现过程中使用 Java 语言创建数据采集接口,实现数据交互,保证数据存储过程的安全性和实时性。客户端采用 DHTML 进行用户界面开发,通过集成 HTML、CSS 和 JavaScript 技术来实现网页的动态效果。

3.1 产品追溯

依据产品生产工艺追溯产品信息,从白模生产、挂涂、造型和浇注 4 个生产阶段进行详细介绍。生产过程数据和铸件信息围绕模号唯一码进行跟踪和查询,在产品追溯的每个环节创建一定约束条件下的数据表,按照生产工艺或者实际需求建立数据表,将每次扫描到的模号唯一码和生产数据以记录的形式进行存储,即可实现模号唯一码与生产数据的绑定。按照不同数据类型或生产工艺建立好数据表之后,通过检索铸件模号即可查询到铸件在生产过程中相关的物料、工序、员工和时间等信息。

3.1.1 模号唯一码管理

产品追溯的关键是每个铸件有唯一标识码,即模号唯一码。对于不同类型的产品,由于其原料、配料的成分和比例不同,可根据物料图号进行区分。对于同种类型的产品,不论是一模单件还是一模多件,其产品物料是相同的,即拥有相同的物料图号,在熔炼管理系统中根据物料图号即可自动生成合金配方(原料和辅料配比);为了进一步区分铸件,组模之后按照生产顺序粘贴模号字符,模号由年号+月号+序号或者月号+序号构成,即可实现同类型产品的区分。

为了统一和简化管理,以模号唯一码对模件进行标识,采用顺序递增的方法为铸件分配模号唯一码,模号

唯一码一共有 14 位,前两位 MO 代表“模号唯一码”,之后 4 位是制表时间(年、月),后面 6 位为顺序编号,其中的某一位不再标识具体含义,但是与具体铸件的物料图号和模号进行了绑定;例如 MO200907000006 代表了制表时间为 2020 年 9 月 7 日、模号为 B21、物料图号为 7DS160、物料名称为壳体的铸件。

3.1.2 白模生产管理

白模生产主要包括制模、熟化和组合 3 部分。根据日计划生成组合派工单,指定人员、机台和数量,同时依据模号管理规则自动生成模号唯一码。

传统生产数据是以纸质记录,查询和共享信息困难,因此编码时要标识每位字符的含义,尽可能通过编码字符串包含所有的产品信息。如今模号唯一码在编码规则上和以往有很大的区别:不再限定每一位字符的含义,而是按照生产计划按序生成模号唯一码,同时和物料、模号以及制单人等信息进行绑定,通过系统查询就能知道产品的所有数据。

图 7 为白模模号和物料字符,当产品模号唯一码条码破损、丢失或者热加工处理时通过手工录入的方式实现对产品信息的跟踪。

当制模完成后模件经过熟化后转移到组合区,利用移动手持机扫码记录模号、数量、日期、生产批号及制模员,同时更新相应的库存区。图 8 为粘贴模号唯一码后的白模。

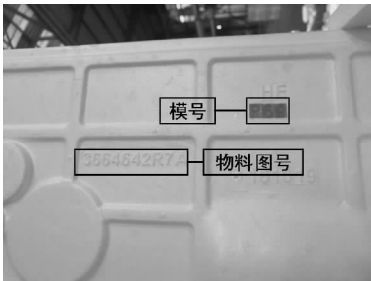


图 7 模件模号和物料字符  
Fig.7 Module number and material characters



图 8 白模模号唯一码  
Fig.8 Module number unique code of white module

3.1.3 挂涂管理

挂涂阶段对于一些结构复杂的消失模模样,为了避免采用喷涂法造成一些“死角”部位喷涂不到,以及避免浸涂法难于排除某些凹槽中堆积涂料,在多次挂涂后通过刷涂进行修复性补刷操作。

在挂涂过程中模号唯一码条码和字符都会被涂料遮盖,因此在进行补涂和挂涂完成后需轻敲涂料层显露出唯一码条码,利用手持 PDA 进行报工,同时更新相应库存区。当二维码出现破损时通过 B/S 端手动报工,通过扫描此二维码即可添加人员、时间、模号等信息。

3.1.4 造型振实管理

造型工位处设置有串口二维扫码枪,每个作业工位对应 3 个信息:模号、砂箱号和配方。当砂箱到达作业位,利用 PLC 采集砂箱 RFID 信息,获得砂箱号并将此传至系统显示。埋箱造型结束后通过扫描砂箱内所放置模件的唯一码条码,将砂箱号与箱内模件的唯一码进行绑定,并将此信息上传至系统中,同时录入的信息中还包括操作人员信息和时间等生产信息,之后将砂箱移动至浇注工位。造型完成后,位于浇道口的模号唯一码会被截掉,便于铁水流入。为了能够在浇注时实时掌握浇注线上每个砂箱内模件的信息,将砂箱号与模号进行绑定,查询某一砂箱号即可掌握对应砂箱内模件的相关信息。

3.1.5 浇注生产管理

为了在浇注过程中很好地监控生产情况,利用组态技术和 PLC 技术设计了浇注监控系统。通过浇注监控平台可实时查询位于浇注线所有砂箱的砂箱号、铁水包的包批次号、铁水包的质量、铁水温度和真空度等浇注信息,这些信息都与砂箱号进行绑定,进而与砂箱内铸件的模号唯一码进行绑定。图 9 为浇注监控系统运行过程的监控界面。



图 9 浇注主界面运行效果

Fig.9 Operation of casting main interface

通过图 9 直观反映了浇注时每个砂箱的状态,对应铁水包的包批次号、产品图号(模号唯一码)、真空度以及排序情况,便于管理人员对生产过程进行合理管理,以及制定下一步的生产计划。

图 10 为生产模号追溯界面,以模号 F3919 为例,可得到生产过程及流通过程信息。



图 10 生产模号追溯界面

Fig.10 Tracing interface of production module number

图 11 为系统生产管理的运行界面。以白区分厂为例,实现了对白区分厂白模生产的可视化监控,依照工

艺流程进行设计,不仅能够直观反映生产各加工过程的任务要求和实时状态,还能够查看生产进度、报工数据以及每个工序的库存,方便管理人员进行监控、管理以及合理制定下一步的生产计划。

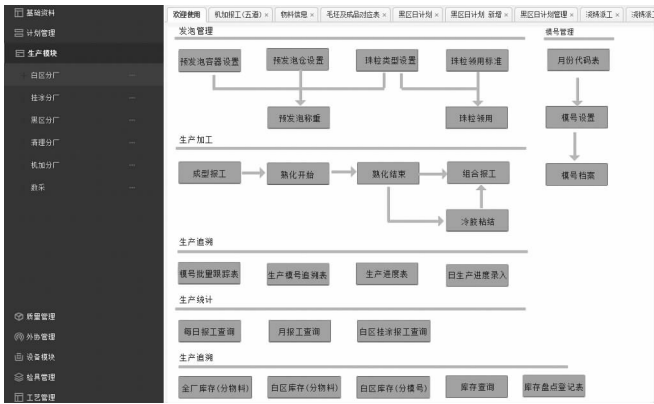


图 11 全生命周期生产管理运行界面

Fig.11 Operation interface of production management during the whole life cycle

3.2 人员追溯

人员追溯是构成产品追溯体系必不可少的环节,建立“一人一码”追溯,操作人员在使用设备进行扫码操作时需提前输入自己的编号,操作结束后系统会自动将员工的编号和操作时间以及生产数据与模号唯一码进行绑定,真正做到“责任到人、落实到岗”。

采用精准化追溯一方面减少了因人员主观因素造成生产数据错乱现象的发生,提高了数据的真实性;另一方面能够提高员工的责任感和积极性,防止诚信不足和信任缺失等乱象,杜绝不良习性的蔓延,有助于提高企业的凝聚力。

3.3 品质追溯

品质管理依据产品知识库、企业经验库、企业模型库、生产工艺要求、国家标准要求以及客户定制要求对动态产品数据进行分析。主要流程是:利用品质状态分析看板对工序状态、工序质量进行监控,并对产品品质进行分析,形成产品合格率统计报表和缺陷原因分析说明,对存在缺陷的工序进行优化处理。图12为品质数



图 12 品质数据追溯界面

Fig.12 Quality data traceability interface

据追溯界面。可以看出,对铸件部分关键成分进行检测得到的数据均在合理范围内,未出现异常项。通过产品品质追溯可以直观地反映出铸件的合格情况,方便管理人员对生产过程进行合理调控。

3.4 应用效果分析

全生命周期管理系统的应用极大地提高了公司在生产数据采集、分析以及品质检测方面的速度和效率。品质监控方面,减少了因人工记录、处理和保存数据造成的数据准确率低、数据不完善等问题,为管理层决策提供了可靠的数据支持。另外,通过系统可记录、核实员工的工作结果,并检索到各工艺环节的负责人,完善了追责制度,提高了企业员工工作的积极性和自律性。生产效率方面,优化了工艺流程,简化了企业生产中冗余流程、存在重复工作的流程以及工艺流程中不细化、不严格等问题,将人工从大量重复性的、繁重的、机械性的工作中解放出来,让其可以有更多的时间、精力投入到更具创造性的工作中,同时也提高了各分厂间工作交接的速率。此外,模号唯一码的使用将整个生产过程数据都串联在一起,通过监控系统可实时查看各个关键工艺处的生产数据,生产配方将“一键下发”至生产工位,极大提高了企业的数字化程度,降低了企业的生产和管理成本。

4 结 语

以消失模铸造产品生产过程为例,将多种信息识别技术应用到铸件全生命周期管理中,实现了生产计划调控、生产过程监控、产品质量管控和生产数据追溯。以铸造产品全生命周期管理为核心,设计了数据采集模型,构建了网络传输体系,建立了生产过程实时数据库以及关系型数据库,在此基础上搭建了生产过程监控平台,实现了对生产过程的实时记录、可视化控制、历史数据查询以及对异常情况进行报警并及时调控等功能。通过“一物一码”,建立了完整的产品追溯体系和应用服务体系,为解决生产过程中存在的工艺缺陷提供了真实、可靠的数据支撑。针对不同类型的数据采用对应的数据分析手段,形成可利用的知识,满足了企业多样化、个性化的生产柔性需求,提高了生产效率,完善了生产工艺,提高了企业智能管理水平。

参 考 文 献

[1] JI X Y, YE H, ZHOU J X, et al. Digital management technology and its application to investment casting enterprises[J]. China Foundry, 2016, 13 (5): 301-309.  
[2] SANGWOO P, KIM C, SEKYOUNG Y. Establishment of an IoT-based smart factory and data analysis model for the quality management of SMEs die-casting companies in Korea[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2019, 15(10):1-21.

# 基于模拟仿真的铝合金铸件热处理过程温度均匀性控制

王先飞 王征远 杨 钦 刘 博 余国康 时亚州 李宝辉  
(上海航天精密机械研究所)

**摘 要** 为实现铝合金铸件热处理过程的温度场调控、减轻变形,采用数值模拟方法,研究了不同料架结构对铝合金铸件表面温度场及温度均匀性的影响。结果表明,模拟仿真能够实现热处理过程铸件表面温度场的准确模拟,同时,热处理料架对铸件表面温度场具有重要影响。针对铝合金舱体铸件,采用  $\phi 30$  mm 小孔+ $\phi 600$  mm 大孔的料架底板,铸件表面不同位置温度均匀性最好,温度误差在  $\pm 5$  °C 范围内。

**关键词** 热处理;温度场;流场;数值模拟

**中图分类号** TG146.21;TP311 **文献标志码** A

**DOI**:10.15980/j.tzzz.2021.03.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Temperature Uniformity Control of the Aluminum Alloy Casting by Simulation during the Heat Treatment Process

Wang Xianfei, Wang Zhengyuan, Yang Qin, Liu Bo, Yu Guokang, Shi Yazhou, Li Baohui  
(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute)

**Abstract:** In order to control the temperature field of the aluminum alloy casting during heat treatment process and reduce deformation, the numerical simulation was adopted to investigate the effect of rack with different structure on the temperature field and uniformity of castings. The results indicate that the simulated temperature field is in great agreement with the experimental ones and the rack structure has significant effect on the temperature field. Regarding to cabin castings of aluminum alloy, the temperature uniformity on the surface of the casting is desirable within the range of  $\pm 5$  °C, when the rack with big hole of 600 mm in diameter and small holes of 30 mm in diameter are used.

**Key Words:** Heat Treatment, Temperature Field, Flow Field, Numerical Simulation

轻量化是航天结构材料的重要发展方向<sup>[1]</sup>。减轻构件质量,能够提高飞行器机动性能,降低飞行器发射成本<sup>[2]</sup>。铝合金密度约为 2.7 g/cm<sup>3</sup>,比强度和硬度高,

综合力学性能好,同时还具有优良的导电、导热性及耐腐蚀性,已广泛应用于航空航天、交通运输、机械制造等领域中<sup>[3]</sup>。

**收稿日期:**2020-08-15;**修改稿收到日期:**2020-10-19

**基金项目:**国家科技重大专项资助项目(2017ZX04006001)

**第一作者简介:**王先飞,男,1986 年出生,高级工程师,上海(201600),E-mail: wang\_xf08@163.com

**引用格式:**王先飞,王征远,杨钦,等. 基于模拟仿真的铝合金铸件热处理过程温度均匀性控制[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(3):378-382.

WANG X F, WANG Z Y, YANG Q, et al. Temperature uniformity control of the aluminum alloy casting by simulation during the heat treatment process[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021,41(3):378-382.

[3] 王雅君,张浩,时君丽,等.基于过程的海产食品质量信息可追溯系统[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 264-271.  
[4] 周奇才,沈鹤鸿,刘星辰,等.大型机械设备全生命周期管理体系结构研究[J]. 中国工程机械学报, 2017, 15(4): 318-323.  
[5] 张瀚青,计效园,周建新,等.砂型铸造企业串并联式质量追责追溯模型研究与应用[J].铸造, 2017, 66(11): 1 178-1 183.  
[6] 李存荣,彭磊.汽车注塑件生产过程控制和追溯系统的研究与实现[J]. 现代制造工程, 2019(1): 69-74.  
[7] 王武兵,陈飞,计效园,等.流程优化与巩固 Eraser-SDCA 方法及铸造企业应用[J].特种铸造及有色合金, 2017, 37(11):1 192-1 196.  
[8] 王国栋,唐任仲,刘运通,等.中小制造企业产品制造生命周期质量导航系统[J].浙江大学学报(工学版),2011,45(8):1 329-1 336.  
[9] 尹超,郭晨,赵旭.微车后桥关键工序生产异常损失评估及预警方

法[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(10): 2 532-2 541.  
[10] 陈硕,但平静,吴兰兰.基于两化融合的产品生产过程控制及质量追溯[J]. 现代制造工程, 2020(3): 33-38.  
[11] 张凯.基于条码技术的汽轮机零部件质量追溯系统研究与开发[D].上海:上海交通大学,2016.  
[12] 刘彬,王德权.发动机装配线 MES 信息系统中标准件追溯方法的研究[J].组合机床与自动化加工技术, 2015 (3): 154-156.  
[13] 吴绍方,黎烨文.铝压铸链条盖全工序精准追溯工艺开发及应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(10): 1 085-1 087.  
[14] 张根保,任显林,李明,等.基于 MES 和 CAPP 的动态质量可追溯系统[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(2): 349-355.

(编辑:刘晨辉)