

HISmart热处理车间数字化管理系统开发

肖枫¹, 邓小虎¹, 凡园园³, 许王立¹, 修永帅¹, 楚西征¹, 郭嘉毅², 王学锐²

1. 天津职业技术师范大学机械工程学院 天津 300222

2. 海思特(苏州)材料科技有限公司 江苏苏州 215100

3. 宁波天安(集团)股份有限公司 浙江宁波 315700

摘要: 针对热处理车间信息化水平不高、生产管理方式落后等问题, 根据热处理车间的生产特点, 设计开发了热处理车间数字化管理系统(HISmart)。该系统通过对车间的生产和管理需求进行分析, 在生产方面, 采用信息化、数字化技术, 实现了产品热处理过程信息化管理, 建立了产品数字化管理、生产执行、过程检验的信息通信渠道; 在管理方面, 实现了车间设备数字化监控、生产实时监控以及异常状态报警等信息化管理功能。该系统提升了热处理车间整体信息化和数字化水平, 为热处理车间的降本增效提供了依据。

关键词: 热处理车间; 信息化; 管理系统; 精细化管理

The development of HISmart digital management system for heat treatment workshop

XIAO Feng¹, DENG Xiaohu¹, FAN Yuanyuan³, XU Wangli¹, XIU Yongshuai¹,

CHU Xizheng¹, GUO Jiayi², WANG Xuerui²

1. Tianjin University of Technology and Education, School of Mechanical Engineering, Tianjin 300222, China

2. Hismart(Suzhou) Material Technology Co., Ltd., Suzhou 215100, Jiangsu, China

3. Ningbo Tianan(Group) Co., Ltd., Ningbo 315700, Zhejiang, China

Abstract: In response to issues such as the low level of informatization and backward production management methods in the heat treatment workshop, a digital management system for the heat treatment workshop (HISmart) was designed and developed based on the production characteristics of the heat treatment workshop. Through the analysis of the production and management requirements of the workshop, this system adopts informatization and digital technologies in the production aspect, realizes the informatization management of the product heat treatment process, and establishes information communication channels for product digital management, production execution, and process inspection. In the management aspect, it realizes informatization management functions such as digital monitoring of workshop equipment, real-time production monitoring, and alarm for abnormal states. This system has enhanced the overall informatization and digitalization level of the heat treatment workshop and provided a basis for reducing costs and increasing efficiency in the heat treatment workshop.

Keywords: heat treatment workshop; informatization; management system; fine management

1 序言

热处理车间是通过各种热处理设备与工艺对金

属工件进行特殊处理以达到不同的性能及需求, 对中国的机械制造业来说至关重要, 尤其是军工、航

基金项目: 江苏省产学研合作项目(BY2022834)。

天、船舶等涉及特殊金属材料的行业。现有的大多数热处理车间老旧设备多、环境比较恶劣，产量与客户需求无法相匹配，设备状态的监控无法实时反馈，设备状态信息与产品质量数据无法批量管理，以及在车间设备状态和生产情况中出现问题时，生产管理人员难以及时做出应对。因此，急需开发热处理车间信息化管理系统来改善上述情况，提高生产效率，实现车间数字化、智能化^[1]。

随着计算机科学技术快速发展并与传统机械制造业融合度不断提升，机械生产车间整体信息化水平逐渐提高，其中的热处理行业生产信息化也得到了发展^[2]。然而，目前热处理的生产信息化仍落后于制造业的平均水平，主要是因为热处理车间环境复杂、产品种类多样、工艺流程繁琐等特点，所以造成车间生产信息化系统面临复杂的信息处理，若处理不当，则会制约车间产品生产速率的提高。基于热处理生产车间的特点，本文提出并设计了热处理车间生产制造系统，实现车间的智能化、信息化升级，主要是对车间生产进行信息化转型，结合相关组批策略，进而排产可执行的调度方案，实现生产的全生命周期管理。

2 热处理车间信息化研究背景

刘越^[3]针对热处理车间设备种类和数量较多、信息化管理程度低的问题，对车间信息化方案做了整体设计，使车间管理人员可以把控产品生产状况，监控设备运行数据。李英阁^[4]针对热处理车间信息化发展程度低，车间信息集成困难的问题，运用物联网技术，结合调度算法等技术，提出了车间制造模式信息化系统，完成了对热处理过程信息监控的目标。向建华等^[5]介绍了江苏丰东在智能化热处理工厂的实践成果，通过在车间多方面集成运用智能设备和系统，实现了热处理生产智能化水平的提升，并提高了产品质量和生产效率，降低了生产成本，实现了节能减排。林柏宇等^[6]针对热处理工艺追溯和排产困难问题，设计了基于物联网的热处理智能制造系统，通过信息交互模型和数据采集技术使车间管理达到智能化水平。张宏芳等^[7]在面对热处理车间因受条件限制而导致零件的详细信息处于孤岛状态时，提出了热处理车间管控一体化改造方案，不仅将生产流程中存在的重复性数据录入降

至最低水平，而且使热处理产品质量完全受控。周玉龙等^[8]构建了一套热处理智能化管控系统平台，使热处理企业在多品种、变批量的生产模式下，提升了热处理产品质量一致性的管控能力。FENG等^[9]针对热处理车间能源浪费和质量问题，建立了智能化车间实时监控系统，利用网络技术对热处理车间进行嵌入式智能数据采集，监控车间数据的传输，优化调度排序，实现了精益化生产。BAYKASOĞLU等^[10]针对热处理炉在线动态调度情况，主要解决车间产品种类繁多情况下的炉子顺序安排问题，设计了构造搜索算法，实现热处理炉的在线调度，达到车间能耗降低的目标。

通过上述相关研究内容的总结，解决了部分热处理车间生产中遇到的复杂问题，但是对热处理车间整体进行精细化管理和生产自动排产方面研究内容较少。例如在车间的生产和管理方面，包括生产全生命周期、设备全生命周期、车间生产的信息传输和监控、计划排产等问题，没有实现热处理车间信息的统一化管理。因此，本文设计并开发了HISMART热处理数字化管理系统，强化了车间生产和管理方式，使生产问题和信息传递易错的现象大为改观，并加入了计划排产和生产调度，提高车间的生产效率，让热处理车间管理的信息化和智能化更进一步。

3 系统需求分析与功能设计

3.1 需求分析

热处理车间的主要目标是制造产品。它不仅涵盖了与产品生产直接相关的功能，还包括了解决车间内其他辅助性质组成要素的管理职能。这两个方面的综合考虑有助于全面实现车间信息化管理系统的核心功能，确保该系统能够迎合车间多样化的需求，并提高整体运作效率与管理质量。

(1) 车间生产需求分析 在传统车间生产中，产品的全生命周期管理，包括生产流程、工艺设计和质量监测，都属于生产范畴。热处理车间的生产环境复杂、信息量大，且多数热处理企业缺乏有效的统一化生产管理，导致信息传输不及时、不准确，影响了生产效率。随着制造业的发展，热处理需求增加，传统的人工排产模式面临挑战，尤其是在处理大量订单时效率低下。此外，生产过程中的

冲突可能会影响产品质量和车间生产效率，暴露了传统生产调度和应急响应的局限性。

(2) 车间管理需求分析 车间管理涉及设备、生产安全和能耗等方面。热处理生产依赖设备，但设备老化和更新缓慢会导致生产问题难以预测，因此实时监测和预警系统对于保障顺利生产至关重要。设备效率直接影响车间盈利，而能耗成本分析需细化到各工序，以反映产品质量和成本。另外，车间还需改进安全环保管理，特别是在环境监测和排放方面，以避免污染。

3.2 功能设计

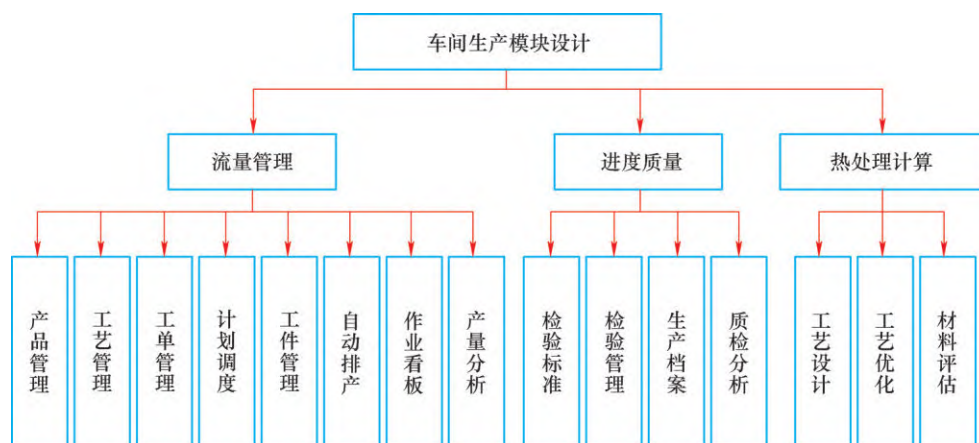
对热处理车间特点和需求分析进行总结，如图1所示。本文从车间管控中心出发来设计，生产其实是管理的一部分，将系统功能分成生产模块和管理模块，是为了突出生产模块的典型功能。

(1) 生产功能设计 生产功能主要是对产品的生产进行全生命周期管理，实现产品生产信息全程透明化流通的目标。

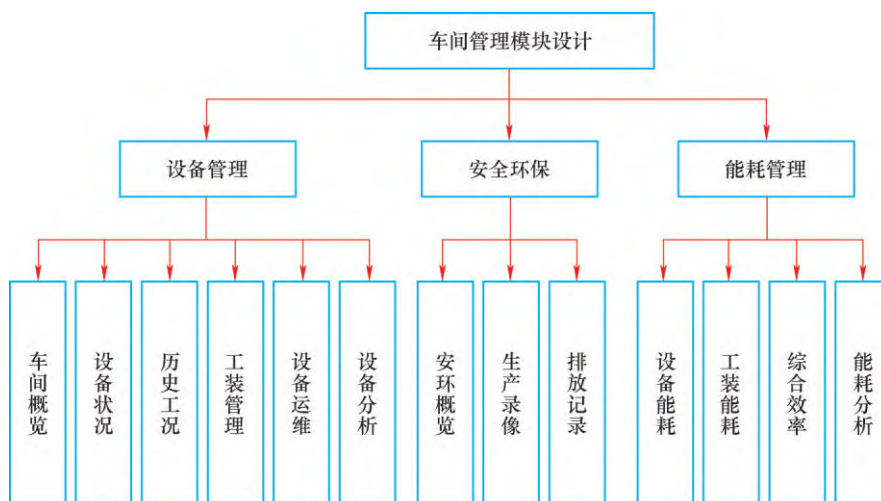
1) 流程管理：此模块是产品信息管理和生产计划执行功能。当产品进入车间时，由流程管理所属的工单管理录入订单信息，并对应建立产品工艺信息。生产时，根据选取相应订单进行生产，结合前面录入的产品生产约束（工艺、机器等）条件建立炉批，可以使用系统提供的自动排产功能（见图2）。

当排产计划经过员工调整确认后，传递至计划调度执行页面进行生产（见图3）。

2) 产品质量：此模块是对车间的产品进行检测，把控产品质量，预防不合格产品的生产。生产进行时，车间人员可以进行检查与记录车间的产品



a) 车间生产功能设计



b) 车间管理功能设计

图1 系统功能结构

质量,系统提供了内置各材料的国家合格标准和客户的检验标准,员工可以通过作业看板和产量分析观察车间的生产情况。

3) 热处理计算:此模块是独立软件的热处理有限元仿真系统,主要是对车间的工艺进行设计、优化和材料评估选型。图4所示为通过已知条件对产品材料进行仿真计算,可以得到产品的工艺渗碳温

度、强渗时间、扩散温度和扩散时间。

(2) 车间管理功能设计 热处理车间的生产是以设备作为载体,来实现工艺要求,进而满足产品生产质量要求。热处理设备一般是运行在高温高压等比较恶劣的环境下,当企业对热处理车间的投资较少时,则会造成设备老化问题较为严重,安全问题频出,若没有形成数字信息化、统一化的管理模

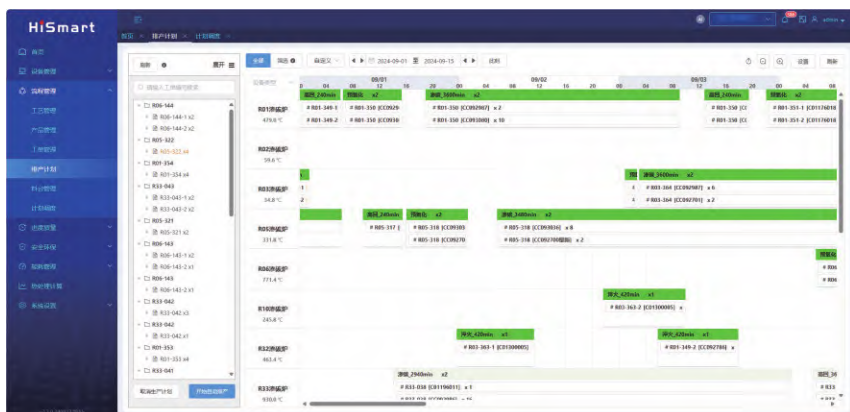


图2 计划排产界面

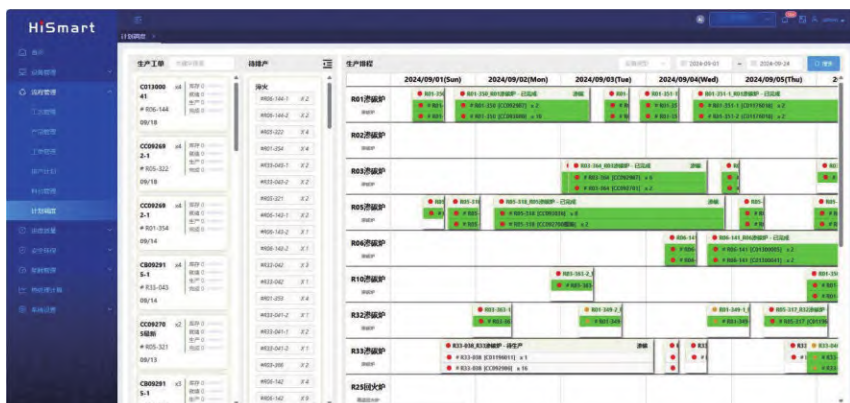


图3 生产调度界面

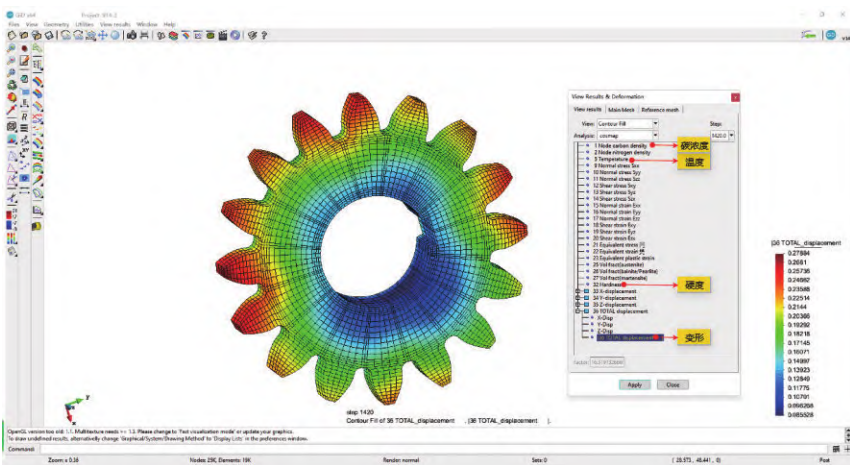


图4 热处理工艺计算界面

式,也会导致车间中存在设备能耗高、生产效率低和环境污染严重等问题出现。因此,本文从设备管理、安全环保、能耗管理三个方面进行车间管理功能的设计。这样的设计具有综合性管理、数据化决策、实时监控、精细化管理以及资源优化等优点,有助于提升生产效率、降低质量风险并实现节能减排。

1) 设备管理:在热处理车间,设备管理对于工艺的成功实施至关重要。以直观的形式实时监测设备运行,在系统中统一管理车间设备,并预警车间设备异常状态。通过该模块,可以全面监控设备的生产运行。图5所示为车间三维数字孪生模型管理。通过此界面,可以看到车间各设备的运行状态,异常时会立刻声光报警,提高了车间的警报能力,为热处理车间的安全运作提供了有力支持。图6所示为设备的各项运行参数的状况,并且还提供了相同产品在不同批次中的工艺曲线对比图,可以追溯产品



图5 车间设备状况管理

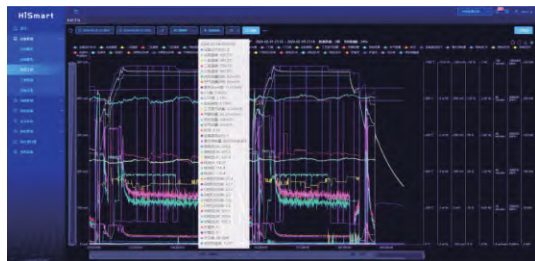


图6 设备历史工况

的质量问题。此模块强化了热处理车间设备信息化管理功能,确保生产过程中的安全性和稳定性得到强有力的保障。

2) 安全环保:此模块的设计对于提高工作环境的安全性和减少环境污染有着重要的作用。通过设计安全提醒和预防措施,可以降低意外事故发生的概率,保障员工的安全。合理设计废气、废水处理系统,能有效减少废物排放,降低其对周围环境的影响;优化能源利用和工艺流程,减少能源消耗和原材料浪费,提高生产效率,降低成本,并确保企业运营合法合规,避免因污染而带来的风险和处罚。图7所示为车间安全环保界面展示各设备的运行状态和实时监控画面,并且可以切换摄像头,对车间实现无死角监控。车间生产出现异常时,如设备异常、空气有害气体等达到阈值时,会自动报警,提醒工作人员进行处理,并实时记录。

3) 能耗管理:图8所示为工件能耗界面,此页面展示车间各工件的成本消耗,包括各介质的消耗以及单价,更好地指导后续产品的定价策略以及介质选择,确保车间管理者在规划车间盈利方面具备更明确的思路,并为其在资源利用和成本控制方面提供数据支持。此模块的设计可在清楚各环节能源消耗的同时,提高产品生产计划的合理性和车间的生产效率,为企业节约成本并提升竞争力做出重要



图7 安全环保管理界面



图8 工件能耗界面

贡献。通过对各工件成本的计算,可以将高能耗的环节进行研究或者外包,进一步细化成本支出。通过设备综合效率(OEE)功能,计算各设备的运行效率,进而优化设备的整体运行效率,提高车间的生产效益。对车间的成本消耗和设备效率进行全面的统计和分析,从而更有效地管理资源消耗。

4 系统相关技术

系统开发使用了B/S开发模式,整个系统是以传统车间特点进行设计,为热处理生产提供管理功能,实现专业的热处理信息化管理系统,以JAVA作为服务端开发语言,HTML5、CSS和JavaScript为前端语言,并结合Vue.js前端框架,使用MySQL数据库作为数据存储。采用了前后端分离架构开发,大大提高了软件开发效率,团队之间的协作更加高效。

计划排产是根据热处理的产品生产特点采用先组批后排产的流程。其中组批使用F&E&W(批次、时间、重量)混合组批策略,排产采用了NSGA-II(非支配排序遗传算法),解决了热处理车间排产的工序时间强制连续问题,实现了减少最大完工时间、机器总负荷和无效能耗的目标。

1) 产品组批设计:热处理车间生产设备的特点决定了热处理生产方式为批次生产,并且结合相关的约束可知,在具有相同的产品生产工艺,并满足热处理炉的限制下才可以放置在同一加工设备中,视为一个炉批。本系统主要根据BFF(Batch First Fit 批首次适应)、EDD(Earliest Due-Date 最早交货到期日)和MWW(Maximum Waiting Weight 最小等待重量)等规则建立炉批,称为F&E&W组批策略,流程如图9所示。

2) 排产算法设计:由F&E&W策略组批后,炉批在算法中视为最小单位,即工件组合确定后,在后续加工中不能拆分,视为一个工件。本文采用NSGA-II(快速非支配排序遗传算法)算法处理车间排产问题,并提出强制连续变量概念,分为0和1表示,含义为当此道工序的强制连续变量为0时,则代表此道工序与前一道工序在时间上不需要强制连续;反之,当强制连续变量为1时,代表这道工序与前道工序在时间上必须连续。将产品的强制时间连续工序在后续绑定在同一个关系中。强制时间连续

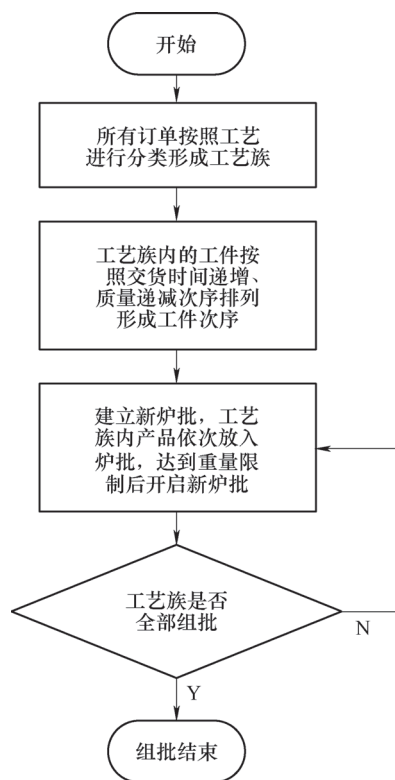


图9 F&E&W组批流程

工序在后续算法计算中视为同工序处理,在遗传算法中整体操作,解码时统计强制连续工序的间隔时间,相邻的强制连续工序如果时间大于0,则重新进行解码组合工序,将前置工序后移达到连续要求。算法建立了以下3个目标。

F_1 最大化完工时间最小,即

$$F_1 = \min C_{\max} \quad (1)$$

F_2 机器总负荷最小,即

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{q_i} \sum_{z=1}^m X_{ijz} T_{ijz} \quad (2)$$

F_3 无效能耗最小,即

$$F_3 = \min (\text{Batch}) \quad (3)$$

式中 F_1 ——最大完工时间;

F_2 ——机器总负荷;

F_3 ——工件组批数;

n ——工件总数;

m ——机器总数;

i ——工件次序;

j ——工序次序;

z ——机器次序;

q_i ——工件*i*的工序数;

T_{ijz} ——一道完整的工序*j*的加工时间;

X_{ijz} ——工序是否在 z 上加工，0-1变量，加工为1；

$C_{\max}$ ——批次工件的最大完工时间；

Batch——组批数目。

5 系统应用实践

热处理车间数字化管理系统（HISMART）聚焦于热处理车间的生产管理全生命周期，基于流动数据、沉淀数据、利用数据的理念，实现对设备工况数据、生产流程数据、检验测量数据等不同维度数据的统一管理和分析，为企业降本增效提供有力的数据支撑。该系统已经在苏州亚太金属和泛威（苏州）传动系统有限公司得到了应用。图10所示为该系统在某企业热处理车间的部署现场。

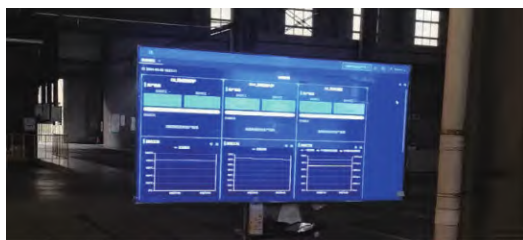


图10 HISMART系统在车间的应用

以下为部署（HISMART）系统后，在热处理生产方面取得的一些典型成效。

1) 进炉时刻统计：交接班时段（早8点晚6点）进炉频繁，在系统上调整进炉时间后，与原先车间员工未利用凌晨低谷电价相比，成本降低约8%。

2) 单位能耗分析：通过能耗分析功能，监测出在所有条件相同的情况下，1号渗碳炉比3号渗碳炉单位能耗高出37.9%。

3) 工艺过程优化：借助系统上的热处理计算和设备监控优化工艺，提高渗碳温度，缩短保温时间1.5h。

6 结束语

本文针对传统热处理车间存在的信息化程度不高、生产计划制订困难等问题，对热处理车间信息化进行改造，并根据热处理车间的生产需求设计了先组批、后排产算法，对车间产品进行合理的计划排产，实现了车间信息化和智能化升级。结论如下。

1) 根据车间生产的特点，将数字化管理系统分

为生产和管理两个方面，细化了车间的管理模式，实现了车间生产流程透明化和车间管理精细化的目标。

2) 数字化管理系统对生产流程进行了全生命周期管理，从产品的入库到成品的出库，期间对产品信息管理，计划排产、生产执行及过程检验等工序形成全流程记录模式，为产品的生产管理和后续质量追溯提供参考。

3) 数字化管理系统对车间管理层面提供全方位的监控和数据分析，包括了对车间设备的运行、环境安全和能耗等方面全流程监控，并提供了不同角度的车间管理功能，为车间安全生产和成本分析等方面提供了重要依据。

参考文献：

- [1] 中国热处理行业协会. 热处理行业“十三五”发展规划[J]. 热处理技术与装备, 2015, 36 (4) : 63-76.
- [2] 牛志芳. 真空渗碳生产线智能控制系统关键技术探究[J]. 农机使用与维修, 2023 (4) : 69-72.
- [3] 刘越. 信息化热处理车间方案设计[J]. 工业加热, 2023, 52 (7) : 63-66, 76.
- [4] 李英阁. 基于物联网的热处理智能系统及关键技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
- [5] 向建华, 张志鹏. 智能热处理工厂系统实践[J]. 热处理技术与装备, 2018, 39 (6) : 55-62.
- [6] 林柏宇, 王桂棠, 陈志盛, 等. 基于物联网的热处理智能制造执行系统[J]. 金属热处理, 2017, 42 (3) : 195-197.
- [7] 张宏芳, 薛文利. 热处理车间信息化技术改造实践[J]. 航空科学技术, 2010 (3) : 25-28.
- [8] 周玉龙, 张振, 周永松, 等. 热处理过程智能信息化生产调度技术[J]. 金属热处理, 2020, 45 (12) : 242-247.
- [9] FENG Z W, WANG G T. Real time monitoring system of heat treatment intelligent workshop[J]. Key Engineering Materials, 2014, 621: 599-604.
- [10] BAYKASOĞLU A, OZSOYDAN F B. Dynamic scheduling of parallel heat treatment furnaces, A case study at a manufacturing system[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018, 46: 152-162.

MW 20240726