

智能机床在自动化生产线中的应用与性能评估

叶 伟¹ 王姜仁² 刘坚参³

1. 宁波海天精工股份有限公司 浙江 宁波 317600

2. 宁波海天精工股份有限公司 浙江 宁波 317600

3. 宁波海天职业技能培训学 浙江 宁波 317600

摘 要: 智能机床作为传统机床与现代信息技术融合产物,集成多种先进技术,能实时感知、智能决策和自主控制加工过程,还具备自诊断、自修复和自适应能力,可实现生产信息化与智能化管理。其在自动化生产线中应用广泛,包括构建柔性生产单元、实现精密加工与质量管控、开展预测性维护与能效优化、支持远程运维与协同制造。同时从加工精度、生产效率、可靠性、智能化水平和能耗等方面构建性能评估指标体系,采用多种方法评估性能。未来,智能机床将向更高精度与速度、深度智能化、云化与协同方向发展。

关键词: 智能机床; 自动化生产线; 质量控制

1 智能机床概述

1.1 智能机床的定义

智能机床是传统机床与现代信息技术深度融合的产物,它集成了先进的传感器技术、自动化控制技术、人工智能算法以及网络通信技术等。智能机床不仅具备传统机床的加工功能,还能够实现对加工过程的实时感知、智能决策和自主控制。通过内置的传感器,智能机床可以实时采集加工过程中的各种数据,如切削力、振动、温度等,并利用数据分析算法对这些数据进行处理和分析,从而及时调整加工参数,优化加工过程,提高加工质量和效率。智能机床还具备自诊断、自修复和自适应能力,能够在出现故障或异常情况时自动进行诊断和处理,减少停机时间,提高设备的可靠性和可用性。智能机床还可以通过网络实现与上层管理系统和其他设备的互联互通,实现生产过程的信息化和智能化管理。

1.2 智能机床的关键技术

传感器技术: 传感器是智能机床感知加工过程的基础。各种类型的传感器,如力传感器、加速度传感器、温度传感器等,被安装在机床的关键部位,实时采集加工过程中的物理量信息。这些传感器具有高精度、高可靠性和快速响应的特点,能够准确地反映加工状态的变化^[1]。(1) 自动化控制技术: 自动化控制技术是智能机床实现精确加工和自主运行的核心。通过先进的数控系统和运动控制系统,智能机床能够按照预设的程序和算法,精确控制机床各轴的运动和加工动作。同时,自动化控制技术还可以实现对加工过程的闭环控制,根据传感器反馈的信息实时调整控制参数,确保加工过程的稳定性和精度。例如,采用高精度的伺服电机和驱动器,

结合先进的运动控制算法,可以实现机床的高速、高精度运动控制。(2) 人工智能算法: 人工智能算法为智能机床的智能决策和自主优化提供了支持。机器学习、深度学习等算法可以用于对加工数据进行分析和挖掘,建立加工过程的模型和预测模型。通过对大量历史数据的学习和训练,智能机床可以自动识别加工过程中的模式和规律,预测加工结果,并根据预测结果自动调整加工参数。(3) 网络通信技术: 网络通信技术使得智能机床能够实现与上层管理系统和其他设备的互联互通。通过工业以太网、无线通信等技术,智能机床可以将采集到的加工数据实时传输到上层管理系统,同时接收管理系统下达的生产任务和控制指令。智能机床之间也可以通过网络实现协同作业,提高生产线的整体效率和灵活性。例如,在自动化生产线中,多台智能机床可以通过网络实现信息共享和协同控制,实现生产过程的自动化和智能化。

2 智能机床在自动化生产线中的应用场景

2.1 柔性生产单元构建

在自动化生产线中,柔性生产单元的构建是实现多品种、小批量生产的关键。智能机床凭借其高度的灵活性和可编程性,成为柔性生产单元的核心设备。通过更换不同的刀具、夹具和加工程序,智能机床可以快速适应不同零件的加工需求。例如,在一个汽车零部件生产线上,智能机床可以根据不同的车型和零部件规格,自动调整加工参数和工艺流程,实现多种零部件的快速切换生产。智能机床还可以与自动化物料搬运系统、机器人等设备集成,实现零件的自动上下料和传输,进一步提高生产效率和自动化程度。这种柔性生产单元的构建

方式,使得企业能够快速响应市场需求的变化,提高市场竞争力。

2.2 精密加工与质量管控

智能机床在精密加工领域具有显著优势。其高精度的运动控制系统和先进的传感器技术,能够实现对加工过程的精确控制,确保加工零件的尺寸精度和表面质量。在航空航天、医疗器械等对加工精度要求极高的行业,智能机床得到了广泛应用。例如,在航空航天领域,智能机床可以加工出高精度的飞机发动机叶片、涡轮盘等关键零部件,满足其对性能和可靠性的严格要求^[2]。智能机床还具备实时质量监控功能。通过在加工过程中实时采集和分析加工数据,如切削力、振动、尺寸偏差等,智能机床可以及时发现加工过程中的质量问题,并自动调整加工参数或发出警报,避免不合格品的产生。这种质量管控方式不仅提高了产品质量,还降低了废品率和生产成本。

2.3 预测性维护与能效优化

预测性维护是智能机床在自动化生产线中的重要应用之一。通过内置的传感器和数据分析算法,智能机床可以实时监测自身的运行状态和关键部件的健康状况。例如,通过对振动、温度等数据的分析,可以预测机床主轴、轴承等部件的磨损情况和剩余寿命,提前安排维护计划,避免因突发故障导致的生产中断。这种预测性维护方式相比传统的定期维护,能够减少不必要的维护工作,降低维护成本,同时提高设备的可靠性和可用性。另外,智能机床还可以通过优化加工参数和运行策略,实现能效优化。例如,根据加工任务的要求和机床的实时负载情况,自动调整电机的功率输出,降低能源消耗。通过对加工过程的优化,减少加工时间和刀具磨损,进一步提高能源利用效率。

2.4 远程运维与协同制造

随着网络通信技术的发展,智能机床的远程运维和协同制造成为可能。通过远程监控系统,技术人员可以在任何地点实时获取智能机床的运行状态和加工数据,对机床进行远程诊断和维护。例如,当机床出现故障时,技术人员可以通过远程连接查看机床的故障代码和运行参数,快速定位故障原因,并提供解决方案。这种远程运维方式不仅提高了维护效率,还减少了技术人员到现场的时间和成本。在协同制造方面,智能机床可以通过网络与其他企业或部门的设备、系统进行集成,实现生产资源的共享和协同作业。例如,在一个跨企业的供应链中,不同企业的智能机床可以根据生产计划进行协同生产,实现零件的异地加工和组装,提高整个供应

链的效率和灵活性。

3 智能机床在自动化生产线中的性能评估

3.1 性能评估指标体系构建

加工精度是衡量智能机床性能的重要指标之一。常用的加工精度指标包括尺寸精度、形状精度和位置精度等。尺寸精度反映了加工零件的实际尺寸与设计尺寸之间的偏差程度;形状精度描述了加工零件表面或轮廓的几何形状与理想形状的符合程度;位置精度则表示加工零件上各要素之间的相对位置与设计要求的偏差。通过对这些指标的测量和分析,可以评估智能机床的加工能力和质量水平。生产效率指标反映了智能机床在单位时间内完成加工任务的能力。常见的生产效率指标包括加工时间、生产节拍和设备利用率等。加工时间是指完成一个零件加工所需的总时间;生产节拍是指连续生产两个相同零件之间的时间间隔;设备利用率则表示机床在实际生产中的有效工作时间与总时间的比例。提高生产效率可以降低生产成本,提高企业的经济效益。可靠性指标用于衡量智能机床在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。常用的可靠性指标包括平均无故障工作时间(MTBF)和故障率等。MTBF是指机床在两次相邻故障之间的平均工作时间,反映了机床的可靠性和稳定性;故障率则表示机床在单位时间内发生故障的概率。高可靠性的智能机床可以减少停机时间,提高生产线的连续运行能力。智能化水平指标体现了智能机床的智能程度和自动化水平^[3]。可以从智能感知、智能决策、智能控制和智能交互等方面进行评估。例如,智能感知能力可以通过传感器数量和精度、数据采集频率等指标来衡量;智能决策能力可以通过加工参数优化算法的准确性和效率、故障诊断的准确性等指标来评估;智能控制能力可以通过机床的运动控制精度、加工过程的稳定性等指标来反映;智能交互能力则可以通过人机界面的友好性、操作便捷性等指标来评价。能耗指标反映了智能机床在加工过程中的能源消耗情况。可以通过单位产品的能耗、机床的功率因数等指标来评估。降低能耗不仅可以降低生产成本,还符合节能减排的环保要求。

3.2 性能评估方法

性能评估方法可以采用实验测试、数据分析、仿真模拟等多种手段相结合的方式。实验测试是通过在实际生产环境中对智能机床进行加工实验,采集相关的性能数据,如加工精度、生产效率、能耗等,然后根据评估指标体系进行计算和分析。数据分析方法则是对采集到的数据进行深入挖掘和分析,通过统计分析、相关性分析、回归分析等方法,找出影响智能机床性能的关键因

素,并为性能优化提供依据。仿真模拟方法可以利用计算机仿真技术,建立智能机床的虚拟模型,模拟不同的加工工况和参数设置,对机床的性能进行预测和评估。通过仿真模拟,可以在不进行实际实验的情况下,快速评估不同方案的效果,降低研发成本和风险。在实际应用中,可以根据具体情况选择合适的评估方法,或者将多种方法相结合,以获得更准确、全面的性能评估结果。

4 智能机床在自动化生产线中的发展趋势

4.1 更高精度与速度

在当今制造业不断升级的进程中,市场对产品质量和生产效率的期望与要求持续攀升,这使得智能机床朝着更高精度与速度的方向发展势在必行。在精度提升领域,先进的运动控制技术成为关键支撑。新型的运动控制系统能够以更高的精度和稳定性控制机床各轴的运动,实现微米级甚至纳米级的定位精度。高精度传感器则如同机床的“敏锐触角”,实时捕捉加工过程中的微小变化,如工件尺寸的微小偏差、表面粗糙度的细微波动等,为精度调整提供精准依据。刀具技术的革新,如新型超硬刀具材料的应用和刀具几何形状的优化,进一步提高了切削精度。在速度提升方面,智能机床不断挑战极限。主轴转速的飞速提升,使得刀具能够在更短时间内完成切削动作;进给速度和加速度的增大,缩短工件在机床上的加工时间。而且,高速加工并非单纯追求速度,它在减少切削力、降低刀具磨损方面表现出色,进而提高了加工表面质量,使产品更加完美,满足航空航天、精密仪器等对超精密加工近乎苛刻的需求。

4.2 深度智能化

深度智能化无疑是智能机床未来发展的核心趋势,它将赋予智能机床更强大的能力。未来的智能机床将具备超强的智能感知能力,通过集成更多种类、更高精度的传感器,能够实时、全方位地感知加工过程中的各种细微变化。无论是加工材料的硬度、韧性等物理特性的微小差异,还是刀具磨损程度的细微变化,亦或是加工环境温度、湿度的波动,都逃不过它的“法眼”。基于这些感知信息,智能机床将拥有智能决策能力,能够自动、准确地做出调整。例如,根据加工材料特性和刀具磨损情况,自动优化切削速度、进给量等加工参数,实现自适应加工,确保加工过程始终处于最佳状态。智能机床还将借助与云端大数据平台的连接,不断学习和积

累加工经验。通过分析海量的加工数据,它能够发现潜在的优化空间,持续提升自身的智能化水平,为制造业带来更高效、更精准的加工解决方案。

4.3 云化与协同

云化与协同将成为智能机床融入工业互联网生态系统的关键路径,为制造业带来全新的变革。将智能机床连接到云端,就如同为机床搭建了一个强大的数据中枢。通过云端,智能机床的运行数据得以集中存储、管理和分析。企业可以充分利用云端丰富的大数据和人工智能资源,对这些数据进行深度挖掘。例如,分析机床的运行效率、故障发生规律等,为生产决策提供科学依据,如合理安排生产计划、优化设备布局等^[4]。云化还赋予了智能机床远程监控、远程维护和远程升级的能力。技术人员无需亲临现场,就能实时掌握机床的运行状态,及时进行故障诊断和维护,大大提高了设备的管理性和可维护性。在协同方面,智能机床将与其他生产设备、物流系统、管理系统等进行深度集成和协同作业。设备之间实现信息共享和协同控制,生产流程更加顺畅,能够根据订单需求快速调整生产计划,实现生产过程的自动化、智能化和柔性化,显著提高整个生产线的效率和竞争力,推动制造业向更高水平发展。

结束语

智能机床在自动化生产线中的应用,为制造业带来了显著的变革与提升。其凭借先进的技术和强大的功能,在柔性生产、精密加工、维护优化等方面发挥着关键作用,有力推动了制造业向智能化、高效化、柔性化迈进。性能评估体系的建立为智能机床的优化提供科学依据。而未来发展趋势更是为智能机床的发展指明方向,相信随着技术的不断进步,智能机床将在自动化生产线中创造更大的价值,助力制造业实现更高质量的发展。

参考文献

- [1]王云波,李铁.智能制造发展过程的阶段及其特征[J].冶金自动化,2020(5):1-7,55.
- [2]张红兵.智能制造技术在工业自动化生产线中的应用[J].造纸装备及材料,2022,51(1):13-15.
- [3]杨伟欣.智能制造技术在工业自动化生产线中的应用[J].今日自动化,2021(4):147-148.
- [4]陈孟江.浅论自动化机械设备设计研发与机械制造[J].内燃机与配件,2022,(13):152-153.