

数控孪生技术在数控机床中的应用

黄新庆

(沂水县技工学校, 山东 临沂 276400)

摘要: 数控孪生技术是一种融合数控制造和数字孪生的前沿技术,在制造业中得到了广泛应用。该文基于数字孪生技术的应用原理与工作流程,重点阐述了在数控机床工作过程中数据感知与融合,利用数字孪生技术实现数据感知与融合实现制造过程的实时监测和控制,探讨了数字孪生技术在故障诊断中如何提高数控机床的可靠性和维护效率,分析了数字孪生技术在参数动态优化与协调控制中的应用,从而提高了加工质量和生产效率,并总结了研究的主要发现,提出了未来研究方向的建议。

关键词: 数控孪生技术;数字孪生;数控机床;数据感知与融合;故障诊断;参数动态优化;数据处理技术

中图分类号:TH16

文献标识码:A

doi:10.14031/j.cnki.njwx.2024.04.027

Application of CNC Twinning Technology in CNC Machine Tools

HUANG Xinqing

(Yishui County Technical School, Linyi 276400, China)

Abstract: CNC twin technology is a fusion of CNC manufacturing and digital twin cutting-edge technology, which has been widely used in the manufacturing industry. This paper is based on the application principle of digital twin technology in the workflow, focuses on data sensing and fusion in the working process of CNC machine tools, using digital twin technology to achieve data sensing and fusion to achieve real-time monitoring and control of the manufacturing process, discusses how digital twin technology in fault diagnosis allows to improve the reliability and maintenance efficiency of CNC machine tools, analyzes the digital twin technology in the dynamic optimization of parameters and the coordinated control, thus improving machining quality and productivity, and by summarizing the main findings of the study and suggesting future research directions.

Keywords: CNC twin technology; digital twin; CNC machine tools; data sensing and fusion; fault diagnosis; dynamic optimization of parameters; data processing techniques

0 引言

数控机床作为现代制造业的关键设备之一,能够以高精度和高效率执行各种复杂的加工任务,从而推动了制造业的发展^[1]。然而,随着制造业的不断发展和竞争的加剧,对数控机床的要求也在不断提高。制造企业需要更高的生产效率、更低的维护成本以及更好的产品质量^[2-3]。为了满足这些需求,数控机床制造业必须不断创新,引入新技术来提高机床的性能和可靠性。

在此背景下,数控孪生技术应运而生。数控孪生技术融合了数控制造和数字孪生的理念,通过建立数字孪生模型,以数字方式呈现机床的物理和运行特性,从而实现实时监测、故障诊断、参数优化和协调控制等功能,可以调控数控机床的运行状态,提高生产效率和产品质量,同时降低维护成本^[4-5]。

因此,探讨数控孪生技术在数控机床领域的应用,着重介绍数控机床工作过程中数据感知与融合、故障诊断、参数动态优化与协调控制技术以及

数据处理技术等方面的应用案例,以展示数控孪生技术对数控机床制造和运行的重要影响。通过本文的研究,旨在为制造业提供如何更好地利用数控孪生技术来提高机床性能和制造效率的有用见解,并为未来的研究方向提供参考。

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术是指将物理实体(例如机器、设备、过程或系统)的数字模型或虚拟副本与实际实体相结合,以模拟、分析、监测和优化其性能和行为的技术,此概念源自生物学中孪生兄弟姐妹,将其应用于工程和科学领域,以创建实际实体的数字化副本。数字孪生技术由数字模型、数据集成、模拟分析、实时监测和控制几部分组成^[6-7]。

2 数字孪生技术在数控机床中的应用

2.1 数据感知与融合技术

数控机床制造和运营过程中的数据感知与融合技术是数字孪生技术的核心部分,主要目标是实时收集、整合和分析与数控机床相关的各种数据^[8-9],以实现对手续性能和状态的实时监测、预测

作者简介: 黄新庆(1970—),男,山东沂水人,本科,讲师,研究方向为数控加工教学。

和改进,主要应用范围及目标如下:

1)实时监测和响应。数据感知与融合技术允许运营人员实时监测数控机床的性能和状态。任何异常情况或潜在问题都可以迅速发现,以减少停机时间和生产中断。

2)预测性维护。通过分析历史数据和趋势,数据感知与融合技术可以预测机床零部件的故障和维护需求,有助于制定维护计划,避免意外停机,同时降低维护成本。

3)性能优化。基于实时数据,运营人员可以调整数控机床的参数和设置,以提高加工精度、减少能源消耗和提高生产效率。

4)数据分析和决策支持。数据感知与融合技术为制造企业提供了大量运营数据,可用于分析和决策支持,可以进一步优化生产计划、资源分配和生产过程。

2.2 故障诊断

在数控机床制造和运营中,故障诊断是一个至关重要的方面。机床的故障可能导致生产中断、降低产品质量和增加维护成本。数字孪生技术在数控机床故障诊断中的应用涵盖了建立机床的数字模型、实时数据采集、数据整合、模型匹配、故障模式识别、实时监测、故障根本原因分析和预测性维护等关键步骤^[10-11],通过将实际机床的数据与数字模型进行比较和分析,数字孪生技术能够识别异常情况、故障模式以及根本原因,从而实现及时的故障诊断和维护计划,提高机床的性能和可靠性,减少停机时间和维护成本。

2.3 参数动态优化与协调控制技术

数控机床在运行过程中运行参数设计包括工艺层参数、插补层参数和伺服层参数。工艺层参数

通常由工程师和制造工艺专家在加工过程规划和准备阶段设置,设置参数主要包括切削速度、进给速度、切削深度和切削宽度;插补层参数涉及数控机床的控制系统,用于生成刀具路径并控制刀具的运动,主要包括插补算法、插补精度和速度曲线;伺服层参数涉及数控机床的伺服系统,用于控制各个轴的运动,主要参数包括PID控制参数、加速度和减速度、伺服控制循环周期^[12]。在数控机床的实际操作中,这些参数通常需要根据不同的工件、材料和加工任务进行调整和优化,基于数字孪生技术的数控机床参数动态优化与调控原理如图1所示,主要包括动态关联映射、基于 Pareto 最优解和工艺参数优化参数集。

2.3.1 动态关联映射

在数字孪生技术中,动态关联映射表示实际数控机床的状态和性能如何与数字模型之间建立关联,通过实时数据反馈,动态关联映射可以确保数字模型与实际机床的状态保持一致。

2.3.2 基于 Pareto 最优解

在参数动态优化中,通常存在多个目标,如最小化加工时间、最大化加工精度、降低能耗等,这些目标可能相互冲突,无法同时实现。基于 Pareto 最优解的原理帮助确定在不同目标之间的权衡,找到一个在多个目标下都没有更好解决方案的最佳参数配置。

2.3.3 工艺参数优化参数集

工艺参数优化参数集是一组工艺参数的集合,工艺参数根据加工任务的需求进行动态调整,基于数字孪生技术可以帮助确定这些参数的最佳组合,以在不同加工条件下获得最佳结果。

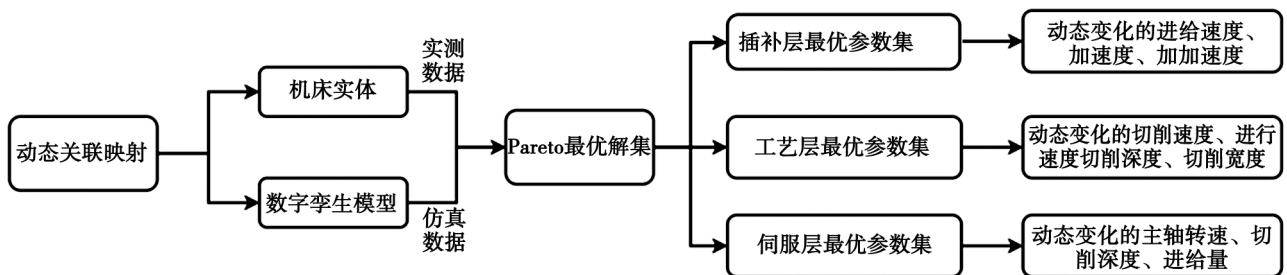


图1 基于数字孪生技术的数控机床参数动态优化与调控原理图

3 存在的问题与发展方向分析

3.1 存在的问题

3.1.1 数据安全和隐私

数字孪生技术需要大量的实时数据,容易引发

数据安全和隐私方面的担忧。保护机床运行数据的隐私以及防止数据被未经授权的访问是一个重要问题。针对数控机床产生的敏感数据,如生产工艺、工件设计和机床性能,需要采用先进的隐私保护技术。数据加密、数据脱敏、身份验证和访问控

制是关键的技术手段,保证敏感信息不会被非授权人员访问。

3.1.2 复杂性和成本

建立数字孪生模型需要深入了解数控机床、数据采集、模型开发、算法设计等多个领域的技术知识,此外数控机床产生的数据可能是多样化和大规模的,需要处理、分析和存储大量实时数据,同时要设计和维护高度复杂的数学模型,因此对于中小型制造企业来说成本较高,并且需要具备相应的技术能力。

3.1.3 数据集成和一致性

数控机床可能装备有各种类型的传感器,如温度传感器、压力传感器、位置传感器等,每个传感器产生不同类型和格式的数据。此外,控制系统、PLC和监控设备也会生成数据,将这些多样化的数据整合在一起需要克服数据格式和单位的不一致性。

3.2 发展方向

3.2.1 模型改进和验证

进一步提高数字孪生模型的精度和准确性,使其更好地反映数控机床的真实行为,同时考虑更多的物理因素,如热、力学、流体等,更全面地描述数控机床的工作环境和性能,实现实时性能模拟,使数字孪生模型能够在实时或接近实时条件下模拟数控机床的性能。

3.2.2 自动化和智能化

开发自动化工具和算法,以简化数字孪生模型的创建和维护过程。自动采集和整合数据,减少人工干预,提高模型的实时性。同时加强操作员和工程师与数控机床之间的智能协作,提高生产效率和决策质量。

3.2.3 开放性标准和互操作性

通过建立开放性标准和提升互操作性,数字孪生技术将更易被不同制造企业采用和定制,促进技术的广泛传播和创新,可以采用以下措施促进通用性于互操作性。

1)制定行业标准。制定数控机床领域的数字孪生技术标准,以确保不同厂商和应用之间的互操作性,降低数字孪生技术的采用门槛,促进技术的快速发展。

2)数据标准和格式。确定和采用统一的数据标准和格式,实现不同数控机床和数字孪生系统之间能够共享和交换数据,提高数据集成的效率和准确性。

3)开放性平台和接口。开发开放性数字孪生平台和接口,不同制造企业能够根据其需求选择不

同的数字孪生组件和工具,并确保它们可以相互配合工作。

4)云基础设施和服务。提供云基础设施和服务支持数字孪生技术的部署和管理。不同制造企业可以访问和扩展数字孪生解决方案。

4 结语

数字孪生技术作为一种融合数控制造和数字孪生的前沿技术,在数控机床领域具有巨大潜力和应用前景。本文探讨了其在数据感知融合、故障诊断、参数优化控制及数据处理等关键领域的应用。该技术能整合多方数据,助力机床状态监测与性能分析;通过先进算法实现故障检测,减少停机时间;基于实时数据优化工作参数,提供数据驱动的决策支持。然而,该技术仍面临数据安全、复杂性、成本及数据集成等挑战,需进一步解决。

参考文献:

- [1] 乔志勇. 基于数字孪生技术的智慧供水平台建设探讨[J]. 科技资讯, 2023, 21(22): 5-8.
- [2] 陈波. 基于数字孪生技术的智慧高速雷视融合系统应用研究[J]. 交通企业管理, 2023, 38(6): 63-65.
- [3] 杨维忠. 数控机床加工工艺参数优化及试验[J]. 农机使用与维修, 2023(10): 56-59.
- [4] 王伟杰, 雍明超, 黄金魁, 等. 高压设备数字孪生体构建及状态分析技术研究[J]. 高压电器, 2023, 59(11): 119-128.
- [5] 顾美. 数控机床伺服控制技术体系与加工精度优化途径[J]. 农机使用与维修, 2023(10): 53-55+59.
- [6] 方圣恩, 郭新宇. 结合数字孪生的斜拉桥系统更新和响应预测[J]. 振动测试与诊断, 2024, 44(01): 11-17+193.
- [7] 刘洋, 尹彦宏, 杨斯渤等. 重载铁路牵引变电所数字孪生技术研究与应用[J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(11): 106-114.
- [8] 张松伟. 基于数字孪生的数控机床工作台进给系统机械故障诊断研究[D]. 西安:西安理工大学, 2023.
- [9] 王进峰, 问丛川, 花广如, 等. 基于Unity3D的数控机床数字孪生系统设计与实现[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(5): 443-448.
- [10] 王松林, 徐爱军, 李聚波, 等. 基于数字孪生模型的齿轮试验台状态监测方法[J]. 机械传动, 2023, 47(8): 142-147.
- [11] 包壁祯, 姚潇潇, 段昭, 等. 基于数字孪生的数控机床健康监测系统[J]. 机电工程技术, 2023, 52(9): 123-127.
- [12] 姚柳. 基于数字孪生的数控技术课程教学实践[J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 396-397.