

数控直线导轨专用磨床精密磨削工艺优化

徐建明 唐德庆 余旭培

浙江得利亚自动化制造有限公司 323000

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12285

[摘要] 数控直线导轨是数控机床的重要功能部件,其磨削精度对机床的整体性能有着至关重要的影响。本文概述了磨削过程中的关键点,并提出相应的优化措施,实现了数控直线导轨的高精度磨削,为数控机床的制造和升级提供了有力的技术支撑。

[关键词] 数控;直线导轨;导轨;磨床;精密磨削

引言:

随着现代制造业的不断发展,数控机床在加工精度、效率以及稳定性方面的要求日益提高。作为数控机床的关键组件,直线导轨的精度和性能直接影响到机床的整体表现,如何实现数控直线导轨的高精度磨削,成为了当前制造业领域亟待解决的问题^[1]。

一、数控直线导轨专用磨床精密磨削相关概述

数控直线导轨专用磨床作为现代精密制造领域的核心设备,专为普通导轨和滚子导轨类产品量身打造,尤其擅长于15至65毫米范围内的精密直线导轨磨削加工。该类磨床不仅提升了导轨的加工精度与效率,还极大地推动了制造业向更高层次的智能化、自动化发展。

(一) 轨道修磨设备的要求

导轨的精度是衡量其性能的关键指标,涵盖了导轨成型面的精度、每条轨道相对于基准的位置精确度、导轨的直线度以及尺寸精度等多个方面。为确保这些精度要求的实现,磨床需满足以下严苛条件:通过先进的CNC控制系统,实现工件在一次装夹下完成粗磨、半精磨和精磨的全过程,极大提升了工件的最终精度;各磨头的重复定位精度需达到 $\pm 0.001\text{mm}$,精磨定型在标准热平衡条件下,进给速度可精确至 0.001mm ,确保了加工的一致性和稳定性;采用同一台金刚石砂轮修整机对两台立式磨头进行逐次修整,保证了两侧滚道尺寸的精确匹配;配备海德汉光栅的西门子828D控制系统,结合友好的人机界面,实现一键启动,完成导轨三面高精度、高效率的磨削作业;简化了操作流程,降低了操作者的劳动强度,提升了工作效率^[2]。

(二) 砂轮磨料的使用要求

导轨滚道表面的粗糙度需达到 $Ra0.4\mu\text{m}$ 及以上,同时滚道及成形表面的几何精度也需满足严格的设计要求。往复成形磨削方式因其切削速度快、负荷大、发热高的特点,对砂轮的选择提出了极高要求:砂轮需具备细小的粒度、高磨粒硬度、良好的成形精度,以及一定的自锐性和较大的容屑空间,保证磨削效率和工件质量^[3]。

(三) 成形砂轮的修形要求

在导轨磨削加工中,成形砂轮的修形是确保导轨高精度加工的关键步骤之一。成形砂轮通过金刚石滚轮进行修整,这一过程对金刚石滚轮的几何精度提出了极高的要求。金刚石滚轮必须具备非常精确的外形和尺寸,让修整后的砂轮能够准确复制所需的磨削轮廓,从而实现导轨的精密成型^[4]。

(四) 冷却与冲洗要求

成形大负载磨削过程中产生的大量热量,不仅影响加工精度,还可能因热应力变化引起振动,加速磨料的钝化,并导致磨屑、磨料和粘结剂脱落堵塞容屑空间,进而引发磨削过程中的振动。因此,大流量冷却与高压冲洗对于保持磨削区温度稳定、防止磨料钝化、清除磨屑至关重要。通过精确控制冷却液的压力和流量,使得冷却液有效进入磨削区,是

实现高质量磨削的关键。

(五) 导轨磨削过程中的参数选择

在导轨磨削过程中,参数的选择直接关系加工质量和效率。首先,粗磨阶段需确保加工质量,避免产生过大的振纹。其次,精磨阶段需合理配置磨削次数,优化表面粗糙度和消除振纹。切刀量、工作台往复转速、砂轮线速度是影响振纹最为敏感的三个因素。通常,在完成精磨后,需要进行3~5次无火花磨削的往复运动,确保导轨的高精度和高质量^[5]。

二、数控直线导轨专用磨床精密磨削工艺优化措施

(一) 优化材料配方与预处理

在导轨制造领域,选用适合特定应用场合的高性能材料是实现高效、高质量加工的基础。高强度合金钢或经过特殊处理的钢材,凭借其优异的机械性能,已成为高端导轨制造的首选材料。这些高性能材料具有高硬度和良好的耐磨性,能在高温环境下保持稳定的尺寸精度,对于导轨在长期使用中的可靠性和耐久性的保障十分重要。特别是在高精度机械系统中,导轨的微小变形都可能对整体性能产生重大影响,因此,需要选用具有稳定尺寸精度的材料。适当的热处理是提升材料性能的关键步骤。通过淬火和回火等热处理工艺,可以提高材料的表面硬度,减少内应力,并增强抗疲劳能力。这些热处理过程改变了材料的微观结构,影响磨削特性,使得后续加工更加顺畅,加工效率和质量得到双重提升。为了进一步提升导轨的耐磨性和抗腐蚀性,引入新型涂层技术或复合材料成为了行业的创新方向。物理气相沉积(PVD)和化学气相沉积(CVD)技术能够在材料表面形成一层超硬薄膜,这层薄膜大幅增加导轨的耐磨性,提高抗腐蚀性能。这种表面处理技术可以降低维护成本,提高整体经济效益。此外,开发复合材料也是提升导轨性能的有效途径。金属基复合材料(MMC)将不同材料的优点巧妙地结合在一起,保留高强度、高硬度特性的同时,通过添加其他材料改善了其韧性、耐腐蚀性等其他性能。这种复合材料的出现,为导轨制造提供了更多选择,使得在不牺牲强度的前提下,大幅延长导轨的使用寿命。

(二) 改进砂轮设计与修整技术

在现代制造业中,砂轮作为磨削加工的核心工具,其设计与修整技术的优劣直接关系到加工效率和产品质量。针对不同材料和加工要求,开发专用砂轮已成为行业发展的重要趋势。专用砂轮的设计充分考虑了材料的特性和加工需求。例如,对于硬度较高的材料,如硬质合金、陶瓷等,传统的砂轮往往难以胜任,因此,选择金刚石或立方氮化硼(CBN)作为磨料成为理想之选。这两种磨料具有极高的硬度和耐磨性,能够在高负荷下保持稳定的切削性能,从而满足对这类材料的精密加工需求。而对于韧性较好的材料,如不锈钢、钛合金等,陶瓷结合剂砂轮则表现出更高的抗冲击性能和更好的磨削效果。陶瓷结合剂的高强度和良好的耐热性,使得砂轮在高速磨削过程中不易破损,且可以保持较长的使用寿命。

命。在砂轮的结构设计上, 多层结构或混合粒度分布的理念得到了广泛应用。多层结构砂轮通过不同磨料层的合理搭配, 实现切削效率和表面光洁度的双重提升。而混合粒度分布的砂轮, 结合不同粒度磨料混合使用, 使得砂轮在磨削过程中能够更均匀地去除工件表面的材料, 获得更加细腻的加工表面。然而, 仅有优质的砂轮设计并不足以确保持续的切削性能和加工质量。砂轮的修整技术同样至关重要。传统的机械修整方式, 如砂轮修整器, 虽然在一定程度上能够满足砂轮的修整需求, 但容易造成砂轮磨损不均, 影响加工精度和表面质量。因此, 更高效的砂轮修整技术应运而生。超声波辅助修整和激光修整是两种先进的砂轮修整技术。超声波修整利用超声波振动产生的能量, 对砂轮进行高频微幅振动修整, 能够精确调整砂轮的形状和切削刃形态, 同时减少修整过程中的砂轮磨损。而激光修整则利用激光束的高能量密度, 对砂轮进行快速、精确的修整, 不仅修整效率高, 而且修整后的砂轮形状更加稳定, 切削性能更佳。此外, 自动修整装置的应用可以进一步提高生产效率。自动修整装置能够根据砂轮的磨损情况, 自动调整修整参数, 确保砂轮始终保持最佳的切削状态。减少人为干预带来的误差, 提高加工的稳定性 and 一致性。

(三) 升级冷却润滑系统

为了应对日益增长的加工需求和环境挑战, 设计更加紧凑高效的冷却润滑装置已成为行业共识。升级后的冷却润滑系统, 不仅体积更加紧凑, 而且在功能上实现了质的飞跃。集成多种加工模式于一体, 如微量润滑 (MQL) 和干式切削, 为用户提供了更为灵活的选择。这种多功能性使得系统能够轻松适应不同的加工环境和工件材料, 确保在各种条件下都能达到最佳的加工效果。模块化设计是此次升级的一大亮点。用户可以根据实际需求, 自由选择并组合不同的冷却润滑组件, 从而定制出最适合自己加工流程的系统。设计提高了系统的灵活性, 降低维护和更换部件的成本, 为用户带来了实实在在的经济效益。在切削液的选择上, 现代制造业正逐步向低粘度、高润滑性的环保型切削液转变。这类切削液具有优异的热传导性能, 能够迅速带走磨削过程中产生的热量, 有效防止工件变形和刀具磨损。具有良好的生物降解性, 对环境的影响降至最低, 符合绿色制造的发展趋势。除了基本的冷却和润滑功能外, 一些新型切削液还添加了防锈、防腐等添加剂。这些添加剂能够在加工过程中为工件和设备提供额外的保护, 延长其使用寿命, 减少因腐蚀而导致的停机时间和维修成本。

(四) 精细化磨削参数设置

在现代制造业中, 磨削加工作为精密制造的重要环节, 其参数设置的准确性直接关系到产品的加工质量和生产效率。为了实现磨削加工的精细化, 需要建立精确的磨削参数数据库。这一数据库的建立, 离不开大量的实验数据积累和计算机仿真模拟的支持。实验数据的积累是精细化磨削参数设置的基础。通过进行一系列的实验, 可以获取不同材料、不同加工要求下磨削参数的变化规律。这些实验数据为工程师提供了宝贵的实践经验, 也为后续的数据分析和模型建立提供了坚实的基础。计算机仿真模拟在精细化磨削参数设置中发挥着重要作用。通过利用先进的计算模型和仿真软件, 对磨削过程进行模拟和分析, 预测不同参数设置下的加工效果。节省大量的实验时间和成本, 为工程师提供更加直观、全面的磨削过程展示。在精细化磨削参数设置中, 统计工具的应用也是不可或缺的。响应面法 (RSM) 和田口方法等统计工具可以帮助工程师们找到平衡加工质量和效率的最佳点。这些工具通过对实验数据的分析, 确定关键参数之间的关系,

建立数学模型, 从而预测不同参数设置下的加工效果。提高磨削质量, 降低试错成本, 为企业的生产效益提供有力保障。此外, 精细化磨削参数设置需要考虑材料特性和加工要求。不同材料具有不同的物理和化学性质, 对磨削参数的要求各不相同。不同的加工要求同样对磨削参数的设置提出了多样的挑战。因此, 在实际操作中, 需要根据具体情况对磨削参数进行灵活调整, 确保加工质量和效率的最优化。

(五) 引入智能控制与监测系统

在现代精密制造领域, 特别是针对数控直线导轨专用磨床 (如 HZ-090 CNC 系列) 的精密磨削过程, 引入智能控制与监测系统是提升加工精度、效率及可靠性的关键一步。这类系统通过配备先进的在线测量设备和传感器网络, 实现了对加工过程的实时数据采集和处理, 提供了精准的过程控制。智能控制系统的核心在于其能够实现实时的数据采集和处理能力。通过安装在磨床上的各类传感器, 可以监测工件的位置、温度、振动等多项关键指标, 并将这些数据及时反馈给控制系统。这不仅有助于确保每次磨削操作都能按照预设参数进行, 还能够在出现偏差时立即做出调整, 从而维持恒定的加工质量。基于传感器反馈信息和自适应算法的智能控制系统可以根据当前的磨削状态自动调整加工参数, 例如进给速度、主轴转速等。这种动态调整机制使得系统能够灵活应对不同工况下的变化, 即使面对材料特性或环境条件的变化, 也能保持稳定的加工效果, 减少人为干预的需求, 提高生产效率和产品质量。构建基于云平台的远程诊断和支持体系, 为技术人员提供了一个便捷的工具体来随时掌握设备状态, 及时解决问题。通过互联网连接, 无论身处何地的技术人员都可以访问磨床的数据, 进行故障诊断并提出维护建议。云端存储的历史数据则可用于趋势分析和预防性维护, 帮助提前发现潜在问题并采取措施, 避免意外停机造成的损失。此外, 通过对云端存储的历史数据进行深度分析, 识别出设备运行的趋势和模式, 预测可能发生的故障, 并制定相应的预防性维护计划。延长设备寿命, 提高设备利用率, 降低运营成本。通过持续学习和优化, 智能控制系统不断改进自身的性能, 以更好地满足日益复杂的加工需求。

结语:

通过对数控直线导轨专用磨床的精密磨削工艺进行优化, 本文成功实现了导轨的高精度磨削。优化后的磨削工艺能够显著提高导轨的精度和表面质量, 为数控机床的制造和升级提供了有力的保障。同时, 本文的研究也为其他类似精密零件的磨削加工提供了有益的参考。未来, 将继续深入研究数控直线导轨的磨削工艺, 探索更加高效、精准的磨削方法, 为制造业的发展贡献更多的力量。

【参考文献】

- [1] 陈登铃, 彭云峰, 王振忠, 毕果, 杨平, 杨炜, 施晨淳, 郭志光. 大口径光学非球面超精密磨削装备与技术[J]. 航空制造技术, 2020, 63 (08): 46-53.
- [2] 徐慧芳. HZ-088CNC 大型直线滚动导轨精密曲面成形数控磨床精密磨削工艺优化及应用研究[J]. 精密制造与自动化, 2013, (03): 11-14+18.
- [3] 余捷. 艺术磨削 魅力无限——访斯来福临中国总经理 Mr. Juergen Schock[J]. 制造技术与机床, 2012, (08): 19-20.
- [4] 杭机集团试制成功数控龙门动梁式导轨磨床[J]. 机械, 2009, 36 (08): 11.
- [5] 杨辉, 吴明根, 董申. 超精密平磨总体设计及关键件加工工艺的研究[J]. 制造技术与机床, 1998, (03): 13-15+3.