

Research on mechanical structure design and Manufacturing technology of CNC machine tools

Liang Gao Xianchen Zhang

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

The beginning of the CNC machine tool relying on the digital instruction driven working principle, according to the movement and control mode of classification, and combined with the current situation of the industry to analyze its high-speed, high precision, intelligent development trend. Subsequently, the principles of precision and stiffness followed by the mechanical structure design were deeply analyzed, and the design of key components such as the main transmission and feed system was discussed. At the level of manufacturing technology, the processing and assembly processes of parts are introduced in detail, and advanced manufacturing technologies such as digitalization and flexibility are introduced. In addition, through the typical case analysis, verify the theoretical results, aiming to improve the performance of CNC machine tools, solve practical problems in the industry, promote the technical progress of the whole CNC machine tool industry to provide theoretical and practical reference.

Keywords

numerical control machine tool; mechanical structure design; manufacturing technology

数控机床机械结构设计与制造技术的研究探讨

高亮 张显辰

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110142

摘 要

开篇阐述数控机床依托数字化指令驱动的工作原理, 依据运动和控制方式等进行分类, 并结合行业现状分析其高速、高精度、智能化的发展趋势。随后, 深入剖析机械结构设计遵循的精度、刚度等原则, 对主传动、进给系统等关键部件设计展开探讨。在制造技术层面, 详细介绍零部件加工、装配工艺, 同时引入数字化、柔性化等先进制造技术。此外, 通过典型案例分析, 验证理论成果, 旨在为提升数控机床性能、解决行业实际问题, 推动整个数控机床行业的技术进步提供理论与实践参考。

关键词

数控机床; 机械结构设计; 制造技术

1 引言

数控机床作为现代制造业的关键装备, 其性能优劣直接影响产品加工质量与生产效率。随着制造业向高精度、高效率、智能化方向迈进, 对数控机床机械结构设计与制造技术提出了更高要求。深入研究这两项技术, 对提升我国数控机床产业竞争力, 推动制造业转型升级具有重要意义。

2 数控机床概述

2.1 工作原理

数控机床依托数字化指令, 实现机床运动的精确控制。操作人员依据加工零件的设计要求, 将刀具轨迹、切削速度、进给量等工艺信息, 按照特定的数控编程语言, 编制成加工

程序, 随后输入数控系统。数控系统接收到程序后, 对其进行译码, 将代码转换为机床可识别的信号, 接着开展运算处理, 计算出各坐标轴的位移量。之后, 数控系统向伺服驱动装置发出精确的控制信号, 驱动电机按预定指令运转, 带动机床各坐标轴有序运动, 由此实现零件从原材料到成品的自动化加工。

2.2 分类

按运动方式, 数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制机床。点位控制机床仅控制刀具从一点移动到另一点的准确位置, 适用于钻孔、镗孔等加工; 直线控制机床除控制位移终点位置外, 还能控制刀具以给定速度沿平行坐标轴方向直线移动, 用于简单的车削、铣削加工; 轮廓控制机床能同时控制两个或多个坐标轴联动, 加工出复杂的曲线和曲面轮廓, 广泛应用于模具制造等领域。按控制方式, 又可分为开环、闭环和半闭环控制数控机床。开环系统结构简单、

【作者简介】高亮 (1983-), 男, 中国辽宁凌源人, 本科, 工程师, 从事机械类 (机床设计) 研究。

成本低,但精度相对较低;闭环系统精度高,但系统复杂、成本高;半闭环系统介于两者之间,应用较为广泛。

2.3 发展趋势

当下,数控机床行业的发展正聚焦于高速、高精度、智能化和复合化。高速化发展趋势下,机床制造商致力于提升主轴转速和进给速度,极大地压缩加工周期,提高生产效率^[1]。高精度化发展通过运用新型的机床结构设计,结合激光干涉仪等先进检测技术,实现对机床运动误差的精准补偿,显著提高定位与加工精度。智能化领域,通过在机床上部署各类传感器,收集实时数据,并运用人工智能算法,实现对加工参数的自适应调控,同时完成故障的智能诊断。复合化方向,机床整合车削、铣削、镗削等多种加工工艺,大幅减少工件装夹次数,不仅降低装夹误差,还显著提升加工效率,全方位推动行业技术进步。

3 数控机床机械结构设计

3.1 总体设计原则

在数控机床机械结构设计中,精度是首要原则,机床需具备高的几何精度、运动精度和定位精度,以满足零件的加工要求。刚度方面,机床的各部件应具有足够的静刚度和动刚度,防止在切削力、重力等作用下产生过大变形,影响加工精度。稳定性要求机床在长期使用过程中,能保持其性能稳定,不受外界因素干扰。可靠性则是保证机床正常运行、减少故障发生的关键。此外,设计还需考虑工艺性,便于零部件的加工和装配,以及人性化设计,提高操作人员的工作效率和舒适度。

3.2 主要机械结构设计

3.2.1 主传动系统设计

主传动系统作为机床的核心部分,其主要功能在于为切削加工提供适配的转速与转矩。在实际应用中,常见的主传动方式包含齿轮传动、带传动和电主轴传动。齿轮传动凭借出色的转矩传递能力,能够适应重载切削工况,因而在大型数控机床中广泛应用;带传动因结构相对简单,且传动过程平稳,多用于中、小型数控机床^[2]。电主轴则将电机与主轴集成一体,显著缩小空间占用,具备高转速、高精度特性,特别适用于高速加工场景。在主轴组件的设计环节,不仅要综合考量加工需求与成本,合理选择主轴的材料,如优质合金钢等,精确确定尺寸,还要适配相应的轴承类型,借此保证主轴具备良好的回转精度与刚度,为机床稳定、高效加工奠定基础。

3.2.2 进给传动系统设计

进给传动系统负责控制机床各坐标轴的运动。滚珠丝杠螺母副和直线滚动导轨副是进给传动系统的关键部件。滚珠丝杠螺母副将回转运动转化为直线运动,具有传动效率高、精度高、摩擦力小等优点。直线滚动导轨副则为工作台等运动部件提供导向,具有运动灵敏度高、定位精度高的特点。在设计时,需根据机床的工作要求,合理选择滚珠丝杠

和直线导轨的规格,并采取措施消除传动间隙,提高进给系统的精度和稳定性。

3.2.3 支承件设计

支承件作为机床床身、立柱、工作台等基础部件,在机床运行时,不仅要承受切削加工产生的切削力,还要承载机床自身以及工件的重力。其结构形式与刚度,对机床加工精度、稳定性等性能起着决定性影响。常见的支承件结构涵盖箱形、框架等结构。在设计环节,需综合考虑成本与性能,合理选择灰铸铁、焊接钢板等材料,优化截面形状,并适当增加筋板数量,以此提升支承件静、动刚度。此外,借助有限元分析方法,模拟支承件在不同工况下的受力情况,对其结构进行优化,确保设计的科学性与合理性。

3.2.4 自动换刀装置设计

自动换刀装置作为提升数控机床加工效率的关键组件,能在加工过程中,依据预设指令,快速自动更换刀具,大幅缩短加工辅助时间。常见类型有刀库式和转塔头式。其中,刀库式换刀装置凭借灵活性和通用性,在各类数控机床中应用广泛。它由刀库和机械手构成,刀库分类存储不同规格刀具,满足多样化加工需求;机械手则精准抓取和交换刀具^[3]。在设计时,要根据加工工艺的复杂程度,合理规划刀库容量,确保能储存所需刀具。同时,优化机械手结构和控制程序,使其动作准确、可靠,从而有效提高换刀效率和可靠性。

4 数控机床机械结构制造技术

4.1 主轴加工工艺

主轴作为数控机床的关键核心部件,通常选用优质合金钢进行制造。制造伊始,通过锻造工艺获得毛坯,这种工艺能有效改善材料的内部组织结构,提升主轴的综合性能。随后依次开展粗加工、半精加工与精加工工序。粗加工主要目的是快速去除大部分余量,提高加工效率;半精加工则为精加工预留合适的加工余量,奠定精度基础;精加工对尺寸精度、形状精度以及表面粗糙度有着严格要求,旨在全方位满足主轴的高精度标准。

4.2 滚珠丝杠加工工艺

滚珠丝杠作为数控机床进给系统的核心部件,通常采用合金钢作为原材料。其加工过程包含车削、螺纹加工、磨削等一系列工序。其中,螺纹加工是决定滚珠丝杠质量的关键环节,常见的有螺纹磨削和滚压两种工艺。螺纹磨削凭借高精度的加工特性,能满足对精度要求极高的滚珠丝杠加工需求;滚压工艺则以高效、低成本的优势,在滚珠丝杠批量生产中广泛应用。在整个加工过程中,操作人员需严格把控各工序的加工参数,如切削速度、进给量等,以此全方位保障滚珠丝杠的精度和表面质量,使其契合数控机床的性能要求。

4.3 支承件加工工艺

数控机床的支承件,诸如床身、立柱等关键部件,多采用铸件或焊接件。其中,铸件的生产需依次历经铸造、时

效处理和机械加工等重要工序。时效处理通过自然或人工方式,消除铸件在铸造过程中产生的内应力,避免加工后出现变形,确保产品质量。焊接件则对焊接技术要求严格,需要通过专业的焊接工艺和质量管控,保证焊接质量,有效控制焊接变形。在机械加工环节,借助大型数控加工中心等高精度设备,对支承件进行精密加工,进一步保障支承件的尺寸精度和形位精度,满足数控机床的设计要求。

4.4 装配工艺

4.4.1 装配流程规划

一套科学合理的装配流程,对提升数控机床的装配效率和质量起着极为关键的作用。装配伊始,通常先开展部件装配,像结构复杂且对精度要求极高的主轴组件,以及决定机床运动精度的进给系统组件等。完成部件装配后,再有条不紊地进行总装配。整个装配过程中,装配人员必须严格遵循装配工艺文件开展作业,细致把控每个装配环节的顺序,精准运用各类装配方法,以此杜绝因装配失误引发的质量问题,顺利达成高效装配与卓越品质的双重目标。

4.4.2 装配精度控制

装配精度无疑是决定机床整体性能的核心要素。在机床的装配过程中,由于零部件存在制造误差,必须通过调整、修配等精细的操作手段,来保障主轴回转精度、坐标轴定位精度等关乎机床加工质量的关键指标。例如,针对主轴部件,合理调整轴承的预紧力,能够有效减小主轴运转时的径向和轴向跳动,大幅提升主轴回转精度。而在工作台装配时,通过对垫片的精心修配,补偿部件间的尺寸偏差,从而确保工作台的垂直度和平行度,为机床稳定、高精度的加工奠定坚实基础。

4.4.3 装配质量检测

装配工作圆满结束后,为确保数控机床的品质,必须对其开展全面且细致的质量检测。在几何精度检测环节,借助专业测量仪器,对机床各部件的直线度、垂直度、平面度等关键指标进行精确测量。在工作精度检测方面,模拟实际加工场景,针对车削外圆、镗孔、铣平面等典型加工操作,严格检测加工精度。此外,还需进行性能检测,测试主轴转速的稳定性、进给速度的准确性以及切削力的变化情况。只有经全方位检测合格的机床,才能交付使用,从而为客户提供可靠的加工保障。

4.5 先进制造技术在数控机床制造中的应用

4.5.1 数字化制造技术

数字化制造技术宛如一条无形的纽带,紧密贯穿于数

控机床设计、制造的每一个环节。在设计阶段,工程师借助计算机辅助设计(CAD)软件,以直观、高效的方式完成机械结构设计,极大提升设计效率与质量。同时,运用计算机辅助工程(CAE)软件模拟分析结构性能,实现设计的优化。进入制造阶段,通过计算机辅助工艺规划(CAPP)软件,制定出科学合理的加工工艺,结合数控加工技术,精确控制机床完成零部件加工,达成生产全过程的数字化控制,全方位提升生产效能。

4.5.2 柔性制造技术

柔性制造系统(FMS)以数控机床作为核心加工单元,搭配自动化物料输送系统实现毛坯、半成品及成品的精准、高效流转,并依靠计算机控制系统下达指令、监控全过程。这种系统打破了传统生产模式的局限,针对多品种、小批量的生产需求,能够灵活调整生产流程。在数控机床生产环节中,引入FMS能极大缩短生产周期,减少设备闲置与人力成本,实现资源的高效利用,全方位提升生产效率,降低生产成本,从而显著增强企业在市场中的竞争力。

4.5.3 绿色制造技术

绿色制造技术,作为实现制造业可持续发展的关键路径,旨在全面减少数控机床制造过程中的能源消耗与环境污染。在降低机床能耗方面,采用节能型电机,可显著减少电力损耗;通过优化加工工艺,能降低切削过程的能量消耗,减少无效做功。在材料选择上,选用可回收、低污染的环保材料,从源头上减少废弃物产生。这些举措,既响应了环保要求,也助力制造业以更绿色、更高效的方式,达成可持续发展的长远目标。

5 结语

本文通过对数控机床机械结构设计与制造技术的研究,深入分析了数控机床的工作原理、结构设计原则和制造工艺。随着科技的不断进步,数控机床机械结构设计与制造技术将持续创新发展。未来,需进一步加强技术研发,推动数控机床向更高性能、更智能化、更绿色环保的方向迈进,为制造业的高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 梁铭祥.数控机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨[J].科技展望,2017,27(22).
- [2] 陈永,陈国华,吴烨龙,等.数控机床机械结构设计与制造技术的研究探讨[J].建筑工程技术与设计,2018(011):4352.
- [3] 陈灏.数控机床机械结构设计与制造技术的优化探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(11):3.