

数控加工中心在模具制造中的精度控制方法

孟庆阵

陕西黄河工模具有限公司 陕西 西安 710043

摘要: 随着制造业的快速发展,模具制造对精度和质量的要求日益提高。数控加工中心作为模具制造中的关键设备,其精度控制直接影响模具的质量和性能。本文分析了影响精度的各种因素,并从机床自身、加工工艺、编程与操作、环境等多个方面提出了全面且有效的精度控制方法,旨在为提高模具制造精度、推动制造业高质量发展提供理论支持和实践指导。

关键词: 数控加工中心; 模具制造; 精度控制

1 引言

模具作为工业生产的基础工艺装备,在汽车、电子、家电、航空航天等众多领域发挥着至关重要的作用。模具的质量和精度直接决定了产品的外观、尺寸精度、性能以及生产效率。在模具制造过程中,数控加工中心凭借其高精度、高效率、高自动化程度等优势,成为实现模具复杂形状加工和保证加工质量的核心设备。然而,在实际生产中,由于受到机床本身、加工工艺、编程与操作、环境等多种因素的影响,数控加工中心的加工精度往往难以达到理想状态。因此,深入研究数控加工中心在模具制造中的精度控制方法,对于提高模具制造水平、增强企业市场竞争力具有重要的现实意义。

2 影响数控加工中心在模具制造中精度的因素

影响数控加工中心在模具制造中精度的因素涵盖多方面。机床自身因素方面,几何精度(如主轴回转精度、导轨直线度等)会直接影响模具尺寸与形状精度;定位精度由丝杠螺距误差等多种因素引起,决定刀具位置准确性;动态精度受机床结构、刚度等影响,高速切削时运动部件振动变形影响精度;热变形则因机床运行产生热量导致结构变化,影响几何尺寸。加工工艺因素中,刀具选择与磨损、切削参数(切削速度、进给量等)设置、夹具设计(定位基准、夹紧力等)以及加工工艺路线安排,均会对模具加工精度产生不同影响。编程与操作因素里,编程误差源于对图纸理解不准确等,操作人员技能水平影响参数调整等,对刀误差则因对刀方法及操作不同而存在差异。环境因素上,温度变化影响机床与工件热变形,湿度过高可能使电气元件受潮、工件刀具锈蚀,振动干扰影响刀具与工件相对位置,灰尘杂质进入运动部件或附着表面,均会降低加工精度。

3 数控加工中心在模具制造中的精度控制方法

3.1 针对机床自身因素的精度控制方法

3.1.1 提高机床几何精度

机床制造商在机床设计和制造过程中,应严格控制各零部件的加工精度和装配质量。采用先进的加工工艺和检测设备,确保机床主轴、导轨等关键部件的几何精度符合要求。在装配过程中,严格按照装配工艺进行操作,保证各部件之间的相对位置精度。例如,采用高精度的磨削工艺加工导轨表面,使用激光干涉仪等高精度检测设备对导轨的直线度、平行度等进行检测和调整^[1]。用户应建立完善的机床维护保养制度,定期对机床进行清洁、润滑、检查和调整。定期检查导轨、丝杠等运动部件的磨损情况,及时更换磨损严重的部件;对机床的几何精度进行定期检测和校正,确保机床始终处于良好的几何精度状态。例如,每半年对机床的几何精度进行一次全面检测,根据检测结果对机床进行调整和修复。

3.1.2 提高机床定位精度

利用数控系统的误差补偿功能,对机床的定位误差进行实时补偿。通过测量机床各坐标轴在不同位置下的定位误差,建立误差补偿模型,将误差补偿值输入到数控系统中。在加工过程中,数控系统会根据当前刀具位置自动调用相应的误差补偿值,对刀具的运动轨迹进行修正,从而提高机床的定位精度。例如,采用激光测量仪对机床的定位误差进行精确测量,然后将测量数据输入到数控系统的误差补偿模块中。伺服系统的性能直接影响机床的定位精度。通过调整伺服系统的增益、加速度等参数,可以提高伺服系统的响应速度和稳定性,减少定位误差。在调整参数时,应根据机床的实际运行情况和加工要求进行优化,采用试切法或专业调试软件对参数进行调整,以达到最佳的定位精度效果。

3.1.3 提高机床动态精度

在机床设计阶段,应充分考虑机床的动态性能,采用合理的结构形式和布局,提高机床的刚度和阻尼特

性。例如,采用加强筋、优化床身结构等方式提高机床的刚度;采用阻尼材料或阻尼结构来吸收振动能量,减少机床的振动。同时,合理设计机床的运动部件,减轻运动部件的质量,降低惯性力对机床动态精度的影响。利用振动检测设备对机床在不同切削条件下的动态特性进行检测,分析机床的振动频率、振幅等参数。根据检测结果,对机床的结构进行调整或采取相应的减振措施,如安装减振器、调整机床的支撑方式等,以提高机床的动态精度。例如,在机床床身下方安装空气弹簧减振器,可以有效减少外界振动对机床的影响。

3.1.4 控制机床热变形

与定位误差补偿类似,通过测量机床在不同温度下的热变形误差,建立热误差补偿模型,对机床的热变形进行实时补偿。可以在机床的关键部位安装温度传感器,实时监测机床各部件的温度变化,将温度数据输入到数控系统中,数控系统根据预先设定的热误差补偿模型对刀具的运动轨迹进行修正。例如,在主轴箱、床身等部位安装温度传感器,根据温度变化对主轴轴线的偏移进行补偿。在机床设计过程中,应充分考虑机床的散热问题,采用合理的散热结构和冷却方式^[1]。例如,在机床的主轴、电机等发热部件上安装散热片或冷却风扇,提高散热效率;对于大型机床,可以采用水冷系统对机床进行冷却,保持机床温度的稳定性。同时,合理布置机床的通风口,保证车间内空气的流通,减少温度对机床的影响。

3.2 针对加工工艺因素的精度控制方法

3.2.1 合理选择刀具与控制刀具磨损

根据模具材料的性质、加工要求和切削条件,合理选择刀具的材质和几何形状。对于加工硬度高、耐磨性好的模具材料,应选择硬度高、耐磨性好的刀具材质,如硬质合金、陶瓷等;对于加工复杂形状的模具,应选择几何形状合适的刀具,如球头铣刀、圆角铣刀等,以保证刀具能够顺利加工到模具的各个部位,同时减少刀具与工件之间的干涉。建立刀具磨损监测制度,采用刀具磨损监测设备或根据加工过程中的声音、振动、切削力等信号判断刀具的磨损情况。当刀具磨损达到一定程度时,及时更换刀具,避免因刀具磨损过度而导致加工精度下降。例如,采用刀具磨损监测传感器实时监测刀具的磨损量,当磨损量超过设定值时,自动发出报警信号,提醒操作人员更换刀具。

3.2.2 优化切削参数设置

通过进行切削试验,研究不同切削参数(切削速度、进给量、背吃刀量)对加工精度和表面质量的影响

规律。根据试验结果,结合模具的加工要求和机床的性能,优化切削参数的选择。例如,采用正交试验法设计切削试验方案,通过对试验数据的分析,确定最佳的切削参数组合。在加工过程中,根据刀具的实际磨损情况、工件材料的硬度变化等因素,动态调整切削参数。例如,当刀具磨损加剧时,适当降低切削速度和进给量,以保证加工精度;当工件材料硬度较高时,适当减小背吃刀量,避免切削力过大导致机床振动。

3.2.3 优化夹具设计

合理选择定位基准,遵循基准统一、基准重合等原则,减少定位误差。根据工件的形状和加工要求,设计合适的定位方式,如采用一面两销定位、V形块定位等,保证工件在夹具中的定位精度。同时,应考虑定位元件的制造精度和安装精度,确保定位基准的准确性。根据工件的形状、尺寸和加工要求,合理设计夹紧力的作用点、方向和大小。夹紧力应足够大,以保证工件在加工过程中不会发生位移或松动,但夹紧力也不能过大,以免使工件产生弹性变形。可以采用液压夹紧、气动夹紧等自动化夹紧方式,提高夹紧力的稳定性和控制精度。

3.2.4 合理规划加工工艺流程

在制定加工工艺流程时,应充分考虑模具各部位的加工精度要求、加工顺序以及装夹次数等因素。优先安排精度要求高的部位加工,采用先粗后精、先面后孔等合理的加工顺序,减少装夹次数和定位误差的积累。例如,对于一些大型模具,可以采用分块加工、组合装配的工艺路线,提高加工效率和精度。根据模具的特点和加工要求,合理选择工序集中或工序分散的加工方式。工序集中可以减少装夹次数和定位误差,提高加工精度,但可能会增加机床和刀具的投资;工序分散则可以使加工过程更加灵活,便于组织生产,但可能会增加装夹次数和定位误差^[3]。在实际生产中,应根据具体情况进行综合考虑,选择最适合的加工方式。

3.3 针对编程与操作因素的精度控制方法

3.3.1 减少编程误差

加强对编程人员的培训,提高其编程技能和对图纸的理解能力。编程人员应熟练掌握各种编程软件和编程方法,能够准确理解模具的设计要求和加工工艺。同时,编程人员应具备良好的数学计算能力和空间想象力,避免在编程过程中出现计算错误或坐标值设置错误等问题。充分利用编程软件的各项功能,如自动编程、仿真加工、误差分析等,提高编程的准确性和效率。在编程过程中,应采用合适的插补算法和圆弧逼近方法,

减少编程误差。同时,通过仿真加工功能对程序进行验证,及时发现并修正程序中存在的问题,确保程序的正确性。

3.3.2 提高操作人员技能水平

定期对操作人员进行技能培训,使其熟悉数控加工中心的操作规程、机床性能和加工工艺。培训内容包括机床的基本操作、刀具装夹与对刀、参数设置与调整、故障诊断与排除等方面。同时,建立操作人员考核制度,对操作人员的技能水平进行定期考核,激励操作人员不断提高自身技能。制定标准化的操作流程,明确操作人员在机床启动、工件装夹、对刀、程序调用、加工过程监控、机床关闭等各个环节的操作步骤和要求。操作人员应严格按照标准化操作流程进行操作,避免因操作不当而导致加工精度下降。例如,在对刀过程中,应规定对刀的方法、对刀仪的使用方法以及对刀精度的检测标准等。

3.3.3 降低对刀误差

根据模具的加工要求和精度要求,选择合适的对刀方法。对于精度要求较高的模具,应采用自动对刀方式,如采用对刀仪进行对刀,提高对刀精度。同时,优化对刀过程,减少对刀误差的产生。例如,在对刀前应确保对刀仪的精度符合要求,对刀过程中应保持刀具和对刀仪的稳定,避免因振动或人为因素导致对刀误差。在对刀完成后,应采用合适的方法对对刀误差进行检测。例如,可以通过试切法检测对刀误差,根据试切结果对刀具位置进行修正。此外,还可以在数控系统中设置对刀误差补偿参数,对对刀误差进行实时补偿。

3.4 针对环境因素的精度控制方法

3.4.1 控制温度变化

在车间内安装空调系统或恒温设备,将车间温度控制在适宜的范围内,一般控制在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 左右,以减少温度变化对机床和工件的影响。同时,应合理安排生产计划,避免在温度变化较大的时段进行高精度模具的加工。在机床启动前,应让机床进行一段时间的空运转,使机床各部件达到热平衡状态,减少机床热变形对加工精度的影响^[4]。在加工过程中,应尽量保持机床运行状态的稳定性,避免频繁启停机床。

3.4.2 控制湿度变化

在车间内安装除湿设备或加湿设备,将车间湿度控制在合适的范围内,一般控制在40% - 60%之间,以防止机

床电气元件受潮和工件、刀具表面锈蚀。同时,应定期对车间进行通风换气,保持车间内空气的干燥和清新。

3.4.3 减少振动干扰

在机床安装时,应采用合理的机床基础减振设计,如采用隔振垫、隔振器等减振装置,减少外界振动对机床的影响。同时,应确保机床基础牢固、平整,避免因基础不均匀沉降而导致机床振动。对车间内的振动源进行隔离和控制,如将产生振动的机床安装在单独的隔振基础上,与其他机床保持一定的距离;对地面振动较大的区域进行减振处理,如铺设减振地板等。

3.4.4 控制灰尘与杂质

建立完善的车间清洁管理制度,定期对车间进行清扫和除尘,保持车间内环境的清洁。在机床周围设置防护罩或防护栏,防止灰尘和杂质进入机床内部。同时,应定期对机床的导轨、丝杠等运动部件进行清洁和润滑,减少摩擦阻力,提高运动精度。在车间内安装空气净化设备,如空气过滤器、除尘器等,对车间内的空气进行净化处理,减少空气中的灰尘和杂质含量。同时,应确保空气净化设备的正常运行和维护,定期更换过滤元件,保证空气净化效果。

结语

数控加工中心在模具制造中的精度控制是一个复杂而系统的工程,涉及到机床自身、加工工艺、编程与操作、环境等多个方面。通过采取相应的精度控制方法,如提高机床几何精度和定位精度、优化加工工艺、减少编程误差和操作失误、控制环境因素等,可以有效提高模具的加工精度和质量,降低生产成本,提高生产效率,增强企业的市场竞争力。随着科技的不断进步,新的精度控制技术和方法也将不断涌现,企业应积极关注和引进这些新技术,进一步提高模具制造的精度水平,推动我国模具制造业向更高质量、更高水平发展。

参考文献

- [1]孔繁清.机械模具制造中的数控加工技术探究[J].时代汽车,2025,(08):139-141.
- [2]蔡艳文.数控技术在精密制造中的实践与创新[J].农机使用与维修,2025,(02):91-94.
- [3]孙文秀.模具数控加工制造技术及应用探讨[J].中国金属通报,2025,(01):86-88.
- [4]吉中亮,牟玉婷.数控加工技术在汽车机械模具制造中的应用[J].汽车测试报告,2024,(21):158-160.