

减少机械加工误差提高机械加工精度

胥 昶

中航西飞汉中航空零组件制造有限公司 陕西 汉中 723213

摘要：机械加工精度对机械产品的质量与性能起着决定性作用。本文深入剖析机械加工误差的来源，涵盖机床、刀具、夹具、工艺系统受力变形、热变形、测量及内应力等方面。同时，针对性提出减少机械加工误差、提高精度的策略，如误差补偿技术、提升机床精度、优化工艺参数、控制加工环境等。通过系统研究这些内容，旨在为机械加工领域从业者提供理论参考与实践指导，助力提升机械加工的整体水平，推动制造业高质量发展。

关键词：减少机械；加工误差；提高机械；加工精度

引言：在现代制造业中，机械加工是产品生产的关键环节，其加工精度直接影响产品的质量、性能和使用寿命。随着科技的飞速发展，各行业对机械产品的精度要求日益严苛，如何有效减少机械加工误差、提高加工精度成为亟待解决的重要课题。误差的存在不仅会导致产品质量下降，还可能增加生产成本、降低生产效率。本文从机械加工精度的基本概念与重要性出发，深入分析误差来源，并提出切实可行的解决策略，期望为机械加工精度的提升提供有益借鉴。

1 机械加工精度概述

1.1 机械加工精度的概念

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状及各表面相互位置等参数）与理想几何参数相符的程度。相符程度越高，加工精度就越高；反之，则加工精度越低。它主要通过尺寸精度、形状精度和位置精度三个方面来衡量。尺寸精度指加工后零件的实际尺寸与零件理想尺寸相符合的程度；形状精度是指加工后零件的实际表面形状对于理想形状的准确程度；位置精度则是指加工后零件的实际位置相对于理想位置的准确程度。机械加工精度是机械制造过程中的核心指标之一，直接关系到产品的最终质量。

1.2 机械加工精度的重要性

机械加工精度在机械制造领域占据着举足轻重的地位。高精度的机械加工能够确保机械产品具备良好的性能与稳定性，使零部件之间实现精准配合，从而提升整个产品的质量和可靠性。例如，在航空航天领域，高精度的零部件加工是保障飞行器安全稳定运行的基础。同时，提高机械加工精度有助于减少产品的装配误差，降低能耗，延长产品使用寿命，增强产品在市场上的竞争力。此外，对于企业而言，加工精度的提升能够提高生产效率，减少废品率，降低生产成本，创造更高的经济

效益。随着制造业的不断发展，对机械加工精度的要求也在持续提高，其重要性愈发凸显^[1]。

2 机械加工误差的来源分析

2.1 机床误差

机床误差是影响机械加工精度的重要因素之一。机床的几何误差，如主轴回转误差、导轨误差和传动链误差等，直接影响工件的加工精度。主轴回转误差会导致工件的圆度、圆柱度等形状误差，若主轴存在纯径向跳动，车削外圆时易产生圆度误差；导轨误差影响刀具与工件之间的相对运动精度，直线度误差会使加工的平面出现平面度问题；传动链误差则会导致传动不准确，在螺纹加工等对传动精度要求高的工序中，造成螺距误差，最终降低加工精度。

2.2 刀具误差

刀具在机械加工过程中会产生多种误差。刀具的制造误差直接影响加工精度，如成形刀具的形状误差，会直接复映到工件表面，导致工件形状不符合要求。刀具在使用过程中会出现磨损，刀具的磨损会使刀具的尺寸发生变化，切削刃的磨损会导致切削厚度增加，从而使工件的尺寸精度和表面质量下降。特别是在长时间连续加工时，刀具磨损加剧，误差积累明显，影响加工精度的稳定性。

2.3 夹具误差

夹具在机械加工中用于定位和夹紧工件，其误差会传递到工件上。夹具的制造误差，包括定位元件、夹紧元件及导向元件的制造误差，会影响工件的定位精度和夹紧效果。定位元件的磨损、定位表面的不平整，会使工件定位不准确，导致加工后的尺寸和位置误差；夹紧元件的夹紧力不均匀，会使工件在加工过程中产生位移或变形，影响加工精度。此外，夹具的装配误差也会对工件的加工精度产生不良影响。

2.4 工艺系统受力变形误差

工艺系统在加工过程中受到切削力、夹紧力、重力等外力作用,会产生弹性变形和塑性变形,从而导致加工误差。切削力作用下,刀具和工件的相对位置发生变化,使切削深度和宽度改变,影响工件的尺寸精度和形状精度。例如,在车削细长轴时,工件在切削力作用下产生弯曲变形,易出现“鼓形”误差。夹紧力过大,会使工件产生变形,特别是对于薄壁零件,变形更为明显;而夹紧力不足,工件在加工中可能发生位移,同样造成加工误差。

2.5 工艺系统热变形误差

工艺系统在加工过程中会因切削热、摩擦热等产生热量,导致系统各部分温度升高并发生热变形,影响加工精度。机床的热变形会改变主轴、导轨等部件的相对位置,如主轴箱的温升会使主轴轴线抬高和倾斜,影响工件的加工精度;刀具受热伸长,会改变切削刃的位置,造成工件尺寸误差;工件的热变形也不容忽视,特别是对于尺寸较大、加工时间长的工件,热膨胀会使加工尺寸超出公差范围,冷却后又会产生收缩误差。

2.6 测量误差

测量过程中存在多种因素导致测量误差。测量器具的精度有限,量具的制造误差、磨损以及测量过程中的读数误差等,都会影响测量结果的准确性。测量方法的选择不当也会产生误差,如测量力的大小、测量基准的选择等。此外,测量环境的温度、湿度、振动等因素也会对测量结果产生影响。例如,在温度较高的环境下测量,工件和量具都会因热膨胀产生尺寸变化,导致测量结果不准确,从而影响对加工精度的判断。

2.7 内应力误差

工件在加工过程中,由于切削力、热作用等因素,会在内部产生内应力。切削加工时,表面层金属的塑性变形和金相组织变化会产生内应力;工件在热处理过程中,由于冷却速度不均匀等原因,也会产生内应力。这些内应力处于不稳定状态,当工件的加工余量被切除或受到外部因素影响时,内应力会重新分布,导致工件产生变形,影响加工精度。例如,铸件在机械加工后,由于内应力释放,可能会出现平面翘曲等变形问题^[2]。

3 减少机械加工误差提高机械加工精度的策略

3.1 误差补偿技术

误差补偿技术是减少机械加工误差的有效手段,其核心在于通过人为引入与原始误差大小相等、方向相反的补偿误差,抵消或降低原始误差对加工精度的影响。在实际应用中,误差补偿技术可分为硬件补偿和软件补

偿。硬件补偿通过设计特殊的补偿装置实现,例如,在精密机床中安装高精度的位移补偿机构,根据实时监测的误差数据,驱动补偿装置对刀具或工件的位置进行微调,从而修正加工误差。软件补偿则借助计算机控制系统,通过建立误差数学模型,将补偿数据输入机床数控系统,在加工过程中自动调整刀具路径或切削参数。如在数控加工中,利用激光干涉仪测量机床的定位误差,通过软件算法计算补偿值并修正数控程序,实现对定位误差的补偿,显著提高零件的加工精度。

3.2 提高机床精度

3.2.1 提高轴承精度

轴承精度对机床运转精度影响重大。在制造环节,运用高精度研磨工艺,严格把控轴承内、外圈滚道的圆度、表面粗糙度,确保滚动体滚动平稳;精确制造滚动体,保证其尺寸一致与球形误差极小。选材上,采用高纯度、耐磨材料,降低使用中的磨损。通过这些手段,减少轴承自身误差,保障机床主轴回转精度,降低工件因轴承误差产生的形状和位置偏差。

3.2.2 提高与轴承相配件的精度

轴承相配件精度影响轴承性能发挥。加工主轴时,严格控制轴颈尺寸精度、圆度,确保与轴承内圈配合间隙合理;对轴承座,精准加工安装孔,保证轴承安装受力均匀,避免变形。同时,提升轴承端盖等配件精度,保证装配时减少轴向窜动与径向跳动。为轴承营造良好工作环境,助力轴承高精度运行,进而提高机床加工精度。

3.2.3 对滚动轴承适当预紧

对滚动轴承预紧能增强机床精度。通过弹簧、垫片或螺纹等方式,在轴承内、外圈间施加轴向力,消除游隙,使滚动体与滚道产生弹性变形,提高轴承刚度,减少振动与噪声。合理预紧的轴承,在承受切削力时保持稳定,降低主轴回转误差,提升机床加工精度与表面质量,尤其适用于精密加工场景。

3.2.4 优化传动链设计

优化传动链是提高机床精度的关键。简化传动结构,减少元件数量与传动级数,降低误差累积;选用高精度滚珠丝杠副、齿轮副等传动元件,合理设计齿轮参数。同时,安装消除装置,如双片薄齿轮错齿调整,消除传动间隙。通过这些优化,提高传动链准确性,保证机床运动精确,提升机械加工精度。

3.3 优化工艺参数

工艺参数的优化是提升机械加工精度的核心。切削速度、进给量和切削深度三者相互关联、相互制约,直接影响加工质量与效率。切削速度过高,刀具磨损加

剧,切削热大量产生,易造成工件热变形,影响尺寸精度;过低则效率低下。进给量过大,会导致工件表面粗糙度增加,甚至引发振动,破坏形状精度;过小则延长加工时间,增加成本。切削深度若超出工艺系统刚性承受范围,会产生弹性变形,造成加工误差。实际生产中,需依据工件材料特性、刀具性能及设备能力,借助切削仿真软件模拟加工过程,结合正交试验等方法,确定最优参数组合。

3.4 控制加工环境

加工环境对机械加工精度有着不可忽视的影响。温度变化会导致机床、工件和刀具发生热变形,进而产生加工误差。例如,在高温环境下,机床各部件因热膨胀系数不同而变形不一致,影响工件的尺寸精度和形状精度。湿度过高则可能使金属工件生锈,影响其表面质量和尺寸稳定性,同时也会对机床的电气元件造成损害。为控制加工环境,企业可安装恒温恒湿系统,将加工车间的温度和湿度控制在适宜范围内。此外,应做好车间的防尘工作,灰尘进入机床内部会影响其运动精度,还会加速刀具磨损。可采用空气净化设备,过滤空气中的灰尘和杂质。

3.5 加强测量工作

测量工作是确保机械加工精度的重要环节。测量误差会直接传递到加工结果中,若测量不准确,即使加工过程控制良好,最终产品也可能不符合精度要求。为加强测量工作,首先要选用高精度的测量仪器,如三坐标测量机、激光干涉仪等,并定期对测量仪器进行校准和维护,保证其测量精度。其次,要提高测量人员的技能水平,通过专业培训使其熟悉测量仪器的操作方法和测量标准,减少人为测量误差。此外,应建立完善的测量管理制度,对测量过程进行严格监控,确保测量数据的真实性和可靠性。

3.6 刀具管理与维护

刀具在机械加工中直接与工件接触,其状态直接影响加工精度。刀具磨损、崩刃等问题会导致切削力不稳定,进而影响工件的尺寸和形状精度。为做好刀具管理与维护,企业应建立刀具管理系统,对刀具的采购、领用、使用和报废进行全程跟踪。根据加工材料和工艺要

求,合理选择刀具的材质、几何参数。在使用过程中,定期检查刀具的磨损情况,可通过观察切屑形态、听切削声音等方法判断刀具状态。当刀具磨损到一定程度时,及时进行刃磨或更换。同时,要注意刀具的存放环境,避免刀具生锈或受到碰撞损坏。通过科学合理的刀具管理与维护,保证刀具始终处于良好的工作状态,提高机械加工精度。

3.7 减少残余应力

残余应力是机械加工过程中不可避免的现象,它会使工件在加工后发生变形,从而影响加工精度。残余应力主要来源于切削力、热应力等因素。例如,在切削过程中,切削力会使工件表面产生塑性变形,形成残余应力;切削热导致工件温度不均匀,冷却后也会产生残余应力。为减少残余应力,可从多方面入手。在加工工艺上,采用合理的切削参数,如降低切削速度、减小进给量等,减少切削力和切削热的产生。同时,合理安排加工工序,避免因加工顺序不当导致残余应力叠加。在加工后,可采用去应力退火、振动时效等方法消除或减少残余应力^[3]。

结束语

减少机械加工误差、提高机械加工精度是一项复杂且持续的工作。通过控制加工环境、加强测量工作、做好刀具管理与维护以及减少残余应力等策略的实施,能够有效降低加工误差,提升加工精度。然而,机械加工精度的影响因素众多,在实际生产中还需综合考虑多方面因素,不断探索新的技术和方法。未来,随着科技的不断进步,新的工艺和理念将不断涌现,我们要持续关注并积极应用,以进一步提高机械加工精度,满足日益提高的产品质量要求,推动机械制造业迈向更高水平。

参考文献

- [1]岳伟平.加工工艺对机械零部件加工精度的影响及优化措施[J].内燃机与配件,2021(09):123-124.
- [2]宋林.机械加工工艺对零件加工精度的影响[J].内燃机与配件,2021(11):121-122.
- [3]于杰.浅谈机械加工工艺对加工精度的影响[J].中国设备工程,2021(08):192-193.