

机械加工误差的来源分析及装配过程中的补偿技术研究

祁新坤

大连华锐重工焦炉车辆设备有限公司 辽宁 大连 116000

摘要: 机械加工误差源于机床制造、刀具磨损、夹具误差、定位偏差、工艺系统变形及受热影响等多因素。为提高加工精度,需深入研究误差来源并采取补偿技术。在装配过程中,通过三维测量和数学模型建立,实现误差补偿,提高装配质量和效率。同时,采取减少原始误差、应用补偿与抵消技术、分化均化原始误差及转移误差方向等综合措施,进一步提升机械加工与装配精度。

关键词: 机械加工误差的来源;装配过程;补偿技术

引言: 随着现代制造业的发展,机械加工精度和装配质量的要求日益提高。然而,机械加工误差和装配误差的存在严重影响了产品的质量和性能。本文旨在深入分析机械加工误差的来源,并探讨装配过程中的误差补偿技术。通过理解误差的产生机理和补偿方法的原理,为提高机械加工精度和装配质量提供理论支持和技术指导,进而推动制造业的持续发展。

1 机械加工误差的来源分析

1.1 机床制造误差

(1) 主轴回转误差。主轴回转误差是指主轴各瞬间的实际回转轴线相对其平均回转轴线的变动量。这种变动会直接影响被加工工件的精度。主轴回转误差的主要来源有主轴的同轴度误差、轴承本身的误差、轴承之间的同轴度误差以及主轴挠度等。这些误差会导致工件在加工过程中的位置不稳定,从而产生加工误差。(2) 导轨误差。导轨是机床上确定各部件相对位置关系的基准,也是机床运动的基准。导轨本身的制造误差、导轨的不均匀磨损和安装质量是造成导轨误差的重要因素。导轨误差会导致机床各部件在运动时产生偏差,从而影响加工精度。(3) 传动链误差。传动链误差是指传动链始末两端传动元件间相对运动的误差。这种误差是由传动链中各组成环节的制造和装配误差,以及使用过程中的磨损所引起的。传动链误差会导致机床在传动过程中产生偏差,从而影响加工工件的精度。

1.2 刀具几何误差

(1) 刀具磨损对加工精度的影响。随着切削时间的延长,刀具的刃口会逐渐变钝,切削力增大,切削温度上升,导致工件表面粗糙度增加,尺寸精度下降。因此,刀具的磨损是机械加工误差的一个重要来源。(2) 不同种类刀具误差的差异性。采用定尺寸刀具加工时,刀具的制造误差会直接影响工件的加工精度;而对于一

般刀具(如车刀等),其制造误差对机械加工误差无直接影响。这是因为定尺寸刀具的加工精度直接依赖于刀具本身的精度,而一般刀具的加工精度则更多地依赖于机床和夹具的精度^[1]。

1.3 夹具几何误差

夹具的作用是使工件相对于刀具和机床具有正确的位置。因此,夹具的几何误差对机械加工误差(特别是位置误差)有很大影响。如果夹具设计不合理或制造精度不高,或者在使用过程中出现松动、变形等问题,都会导致工件定位不准确,从而产生加工误差。

1.4 定位误差

(1) 基准不重合误差。在机床上对工件进行加工时,需要选择工件上若干几何要素作为加工时的定位基准。如果所选用的定位基准与设计基准(在零件图上用来确定某一表面尺寸、位置所依据的基准)不重合,就会产生基准不重合误差。这种误差会导致工件在加工过程中的位置偏离设计位置,从而产生加工误差。(2) 定位副制造不准确误差。工件定位面与夹具定位元件共同构成定位副。由于定位副制造得不准确和定位副间的配合间隙引起的工件最大位置变动量,称为定位副制造不准确误差。这种误差只有在采用调整法加工时才会显现出来,对一批工件的加工误差来说,定位副制造不准确误差是一个常数,会使一批工件的加工误差趋于一致,增大分散范围。

1.5 工艺系统受力变形产生的误差

(1) 工件刚度对加工误差的影响。如果工件刚度相对于机床、刀具、夹具较低,在切削力的作用下,工件会因为刚度不足而产生变形。这种变形在加工结束后会部分恢复,导致加工误差。工件刚度越低,其变形量越大,加工误差也越大^[2]。(2) 机床部件刚度的影响。机床部件,如主轴、导轨、床身等,在受到切削力、夹紧

力等外力作用时,也会发生变形。这种变形会改变刀具与工件之间的相对位置关系,从而导致加工误差。机床部件的刚度越高,其抵抗变形的能力越强,加工精度也越高。

1.6 工艺系统受热变形引起的误差

在机械加工过程中,由于切削热、摩擦热等热源的存在,工艺系统会受热而发生变形。这种变形会改变刀具与工件之间的相对位置关系,导致加工误差。工艺系统受热变形对加工精度的影响很大,特别是在精密加工和高速加工中更为明显。

1.7 调整误差与测量误差

在机械加工过程中,经常需要对机床、刀具、夹具等进行调整,以确保它们处于正确的位置。然而,由于调整过程中的不准确性,如调整量不准确、调整后的部件松动等,都会导致加工误差。此外,测量方法和量具精度也会对加工精度产生影响。如果测量方法不合理或量具精度不高,就会导致测量结果不准确,从而影响加工精度。

1.8 内应力导致的误差

在机械加工过程中,由于材料的不均匀性、切削热、夹紧力等因素的作用,工件内部会产生内应力。这些内应力在加工结束后会释放出来,导致工件发生变形,从而产生加工误差。内应力导致的误差通常很难预测和控制,因此需要采取一系列措施来减小其对加工精度的影响。

2 装配过程中的误差补偿技术研究

2.1 装配误差的定义与分类

装配误差是指在装配过程中,由于零部件尺寸、形状、位置或配合关系等因素与设计要求不符而产生的偏差。这些误差可能来源于制造、测量、装配工艺等多个环节。

2.1.1 装配误差的主要类型

(1) 位置误差:零部件装配后的实际位置与设计位置之间的偏差,如偏移、倾斜等。(2) 尺寸误差:装配体的整体或局部尺寸与设计尺寸不一致,可能是由于零部件自身的制造误差或装配过程中的累积误差。(3) 形状误差:装配体的形状与设计形状有差异,如平面度、圆度、圆柱度等方面的偏差。(4) 配合误差:零部件之间的配合间隙或干涉超出设计范围,影响装配体的功能和性能。

2.1.2 装配误差的影响因素

(1) 零部件制造精度:零部件的尺寸、形状和位置精度直接影响装配精度。(2) 装配工艺:装配顺序、

定位方式、夹紧方法等因素都会对装配精度产生影响。

(3) 测量误差:测量设备的精度和测量方法的合理性决定了测量结果的准确性。(4) 环境因素:温度、湿度等环境条件的变化也可能导致装配误差^[3]。

2.2 装配误差补偿的基本原理

误差补偿技术旨在通过预设的修正措施来抵消或减小装配误差,从而提高装配精度。(1) 误差补偿的基本概念。误差补偿是在明确误差来源和分布规律的基础上,通过主动调整或添加补偿元件来改变装配体的实际状态,使其接近设计要求。这种技术能够显著提高装配精度,降低废品率,提高生产效率。(2) 补偿方法的分类与应用。补偿方法主要分为硬件补偿和软件补偿两类。硬件补偿通过添加调整垫、调整块等补偿元件来直接修正装配误差;软件补偿则利用先进的测量技术和数据分析方法,建立装配误差的数学模型,并通过控制算法调整装配参数或工艺过程,实现误差的自动补偿。

2.3 基于三维测量和数学模型的补偿方法

随着三维测量技术和计算机仿真技术的发展,基于三维测量和数学模型的补偿方法已成为实现高精度装配的有效途径。(1) 三维测量技术的应用。三维测量技术能够精确地获取装配体及其零部件的几何信息,为误差分析和补偿提供了可靠的数据基础。激光扫描仪、结构光测量仪等设备的应用,使得装配误差的测量变得更加高效和准确。(2) 数学模型的建立与优化。基于三维测量数据,可以建立描述装配误差的数学模型。这些模型能够反映装配误差的分布规律、影响因素以及它们之间的相互作用关系。通过不断优化模型参数,提高模型的准确性和可靠性,为后续的补偿算法设计和实施提供有力支持。(3) 补偿算法的设计与实现。补偿算法是实现误差补偿的关键。它根据数学模型预测出的装配误差,计算出补偿量,并控制机器人或自动化设备执行补偿操作。算法的设计需要考虑实时性、鲁棒性和可集成性等因素,确保补偿操作的准确性和稳定性。

2.4 误差补偿技术的实施步骤

实施误差补偿技术需要遵循一系列严谨而细致的步骤:(1) 关键位置的测量与误差获取。需要明确哪些位置是装配精度的关键所在,并对这些位置进行精确测量,记录下它们的实际尺寸、形状和位置信息。将这些信息与产品设计要求进行比对,即可识别出装配误差的具体类型和大小。(2) 数学模型的建立与误差描述。基于测量数据,建立描述装配误差的数学模型,这个模型需要能够全面、准确地反映装配过程中各种误差的分布规律和相互之间的关系。通过运用统计分析、几何建模

或物理仿真等方法,可以深入分析装配误差的来源,并量化描述其对装配精度的影响。这一步骤是误差补偿策略制定的基础。(3)采用机器人或自动化设备的补偿调整。一旦建立了可靠的数学模型并明确了误差分布,就可以设计并实施补偿算法。这个算法会根据数学模型预测的误差,计算出每个关键位置的补偿量。随后,通过控制机器人或其他自动化设备,可以精确地调整装配体中的零部件,从而实现误差的补偿。这一步骤要求高度的自动化和精确性,以确保补偿操作的准确性和效率^[4]。

(4)验证与调整:补偿效果的评价与优化。补偿策略实施后,需要对装配体的精度进行再次测量和评估,以验证补偿效果是否满足设计要求。这一步骤是确保误差补偿有效性的关键。如果补偿效果不理想,需要重新分析误差来源,调整数学模型和补偿算法,甚至可能需要改变装配工艺或硬件设备。

3 提高机械加工精度和装配质量的综合措施

3.1 减少原始误差的策略

原始误差是机械加工和装配过程中无法避免的,但可以通过一系列策略来最小化其影响。(1)提高机床、夹具、量具和工具的精度。机床、夹具、量具和工具的精度直接影响加工件的精度。因此,定期校准和维护这些设备,确保其处于最佳工作状态,是减少原始误差的关键。此外,选择高精度、高稳定性的设备也是提高加工精度的有效途径。(2)控制工艺系统受力、受热变形产生的误差。工艺系统在加工过程中会受到力和热的影响,从而产生变形,进而影响加工精度。为此,需要优化工艺系统设计,如采用预应力结构来减小受力变形,以及优化冷却系统来减小热变形。(3)减少刀具磨损和内应力引起的变形误差。刀具磨损和内应力是加工过程中常见的误差来源。定期更换磨损的刀具,以及采用先进的刀具材料和涂层技术,可以显著减少刀具磨损引起的误差。同时,通过热处理工艺消除材料内应力,也可以减小由此引起的变形误差。

3.2 误差补偿与抵消技术的应用

误差补偿与抵消技术是提高加工精度的重要手段。

(1)人为制造新误差进行补偿。在某些情况下,可以通过人为地引入新误差来补偿原有的误差。例如,在机床加工过程中,可以通过调整机床参数来引入与原有误差相反的误差,从而实现误差的相互抵消。(2)利用原有误差进行相互抵消。在装配过程中,可以利用零部件之间

的误差相互抵消来提高整体装配精度。这需要对零部件的误差进行精确测量和分析,然后合理安排装配顺序和定位方式,使误差在装配过程中得到最大程度的抵消。

3.3 分化与均化原始误差的方法

分化与均化是处理原始误差的有效策略。(1)分组法减少尺寸分散范围。对于尺寸分散较大的零部件,可以采用分组法进行加工和装配。通过将零部件按照尺寸进行分组,并在组内进行加工和装配,可以显著减小尺寸分散范围,从而提高加工和装配精度。(2)均化原理在加工过程中的应用。均化原理是通过多次加工和测量来平均化误差,从而提高加工精度。例如,在研磨和抛光过程中,通过多次迭代加工和测量,可以逐渐减小零部件表面的不平度,从而提高其精度。

3.4 转移原始误差至非敏感方向

在某些情况下,可以通过改变加工或装配方式,将原始误差转移至对产品质量影响较小的方向。为了实现误差方向的转移,需要对加工和装配过程进行深入分析,明确哪些方向的误差对产品质量影响较小。然后,通过调整加工参数、改进装配工艺等方式,将原始误差引导至这些非敏感方向。例如,在铣削加工中,可以通过调整刀具路径和进给速度,将表面粗糙度误差引导至对工件功能影响较小的方向。

结束语

综上所述,机械加工误差的来源多种多样,而装配过程中的补偿技术是提高产品精度的有效手段。通过深入理解误差来源,我们能够有针对性地提出改进措施,优化工艺流程,减少误差的产生。同时,补偿技术的应用也极大地提高了装配精度,保障了产品性能和质量。未来,随着技术的不断进步,我们将继续探索更高效、更精确的误差补偿方法,为制造业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘晶晶.机械加工工艺技术的误差分析及策略[J].农业技术与装备,2019,(03):50-51.
- [2]康德.机械加工工艺技术的误差原因及控制策略[J].技术与市场,2020,(10):112-113.
- [3]刘金鹏,武利兵,张磊等.机械加工工艺技术误差问题及对策探讨[J].中国设备工程,2020,(08):80-82.
- [4]赵晓峰.机械加工过程中误差产生的原因分析及应对策略[J].机械管理开发,2023,(04):20-22.