

机械加工质量控制与检测

胥 旸

中航西飞汉中航空零部件制造有限公司 陕西 汉中 723213

摘 要：机械加工质量控制与检测是确保产品性能、可靠性和经济效益的关键。随着制造业竞争加剧，传统检测方法已无法满足高精度和高效生产需求。采用三坐标测量机、表面粗糙度测量仪及非破坏性检测技术等先进手段，能有效应对表面粗糙度、尺寸偏差及材料硬度不均等挑战，提供准确数据支持，优化设计与生产过程，提升机械加工质量和产品竞争力。

关键词：机械加工；质量控制；检测

引言：随着现代工业的快速发展，机械加工质量控制与检测的重要性愈发凸显。高精度的机械加工是保证产品性能的关键，而有效的检测技术则是确保质量达标的重要手段。本文旨在探讨机械加工质量控制的理论基础、关键技术和实践应用，同时分析先进的检测技术及其在提高加工质量和效率方面的作用，为机械加工行业的质量控制与检测提供理论指导和实践参考。

1 机械加工质量控制理论基础

1.1 机械加工质量的概念及组成

（1）加工精度。加工精度指的是机械零件在加工过程中，其形状、位置和尺寸等几何参数与理想设计值之间的接近程度。形状精度要求零件的实际轮廓线接近理论轮廓线；位置精度要求零件各表面之间的相对位置关系符合设计要求；尺寸精度则要求零件的实际尺寸接近设计的理论尺寸。这三者共同构成了机械加工精度的核心。（2）表面质量。表面质量主要涉及零件表面的微观几何形态、物理性能和化学性能。微观几何形态包括粗糙度和波纹度，它们影响零件的表面光洁度和配合性质。粗糙度是衡量零件表面微小不平整度的指标，而波纹度则是介于宏观形状误差与微观粗糙度之间的表面不规则性。物理性能如硬度，直接影响零件的耐磨性、抗疲劳强度等。化学性能则涉及零件的耐腐蚀性和抗氧化性等。此外，残余应力也是表面质量的重要组成部分，它影响零件的变形和尺寸稳定性^[1]。

1.2 影响机械加工质量的因素

（1）系统动静态误差。机床、夹具、刀具等组成的工艺系统存在动静态误差，这些误差会直接影响加工精度。例如，机床的热变形、几何误差和刚度不足等，都可能导致加工精度下降。（2）安装误差。工件和刀具的安装不当会导致加工时的定位不准确，进而影响加工精度。因此，确保工件和刀具的正确安装是保障加工质量

的关键。（3）测量误差。测量工具的精度、测量方法的适用性以及测量操作人员的技能水平等因素，都会影响测量结果的准确性，从而对加工质量的判断和控制产生影响。（4）刀具几何误差。刀具的几何形状和精度直接影响切削过程，进而影响加工精度和表面质量。因此，选用高精度刀具并定期进行刃磨和检测是保证加工质量的重要措施。（5）导轨平行度误差。导轨平行度误差会影响机床工作台或刀架的运动轨迹，导致加工误差。因此，保持导轨的高精度和良好润滑是保障加工质量的关键。（6）作业和测试方式因素。不同的切削参数、加工方法和测试手段也会对机械加工质量产生影响。因此，在实际操作中，应根据具体情况选择合理的作业和测试方式。

2 机械加工质量控制技术解析

2.1 过程控制

（1）操作人员技能提升与素质教育。操作人员是机械加工的直接执行者，其技能水平与职业素养对加工质量至关重要。企业应定期组织专业技能培训，内容涵盖新设备操作、新工艺应用及加工精度控制技巧等，帮助操作人员掌握前沿技术。同时，加强职业素质教育，培养严谨的工作态度与质量意识，促使其严格遵守操作规程，减少人为失误。（2）施工设备管理与控制。施工设备和计量器具的精度与可靠性直接影响加工质量。企业需建立完善的设备管理制度，定期对机床、刀具、量具等进行维护保养与校准，及时更换磨损部件，确保设备处于最佳运行状态。对于计量器具，要严格按照标准进行检定，保证测量数据的准确性与可靠性^[2]。（3）施工环境条件控制。施工环境对机械加工质量有着不可忽视的影响。适宜的照明条件能让操作人员清晰观察加工过程，避免因视觉误差导致的质量问题；稳定的温度和湿度可减少工件因热胀冷缩、受潮变形等引起的加工误

差。因此,企业应根据加工要求,对车间环境进行精准调控,为高质量加工创造良好条件。

2.2 减少原始误差的方法

(1) 提高机床、夹具、量具及工具的几何精度。机床、夹具、量具及工具的几何精度是影响机械加工精度的重要因素。通过采用高精度的制造工艺和材料,对这些设备和工具进行优化设计和制造,能够有效提高其几何精度。定期对设备和工具进行检测和修复,及时发现和纠正几何误差,保证加工过程的精度要求。(2) 控制工艺系统受力、受热变形误差。在机械加工过程中,工艺系统会受到切削力、夹紧力等外力作用以及切削热等热因素的影响,从而产生变形误差。通过合理选择刀具几何参数和切削用量,优化加工工艺路线,能够减少切削力和切削热的产生。采用冷却和润滑措施,降低切削温度,减小热变形。同时,合理设计夹具和工件的装夹方式,减少夹紧力引起的变形。(3) 减少刀具磨损及内应力变形误差。刀具磨损会导致加工尺寸和形状误差,内应力变形则会影响工件的尺寸稳定性和力学性能。选择耐磨性好的刀具材料,合理设计刀具结构,能够延长刀具使用寿命,减少刀具磨损。通过采用合理的热处理工艺和加工工艺,消除或减小工件的内应力,避免内应力变形对加工质量的影响。

2.3 误差补偿法

(1) 原理及实施方式。误差补偿法是通过预先测量出加工误差,然后采用一定的方法对误差进行补偿,以达到提高加工精度的目的。其实施方式主要有硬件补偿和软件补偿两种。硬件补偿是通过调整设备结构或增加补偿装置来实现误差补偿;软件补偿则是通过修改数控程序或控制系统参数来实现误差补偿。(2) 应用案例分析。在精密数控加工中,通过在机床控制系统中建立误差补偿模型,根据预先测量的机床误差数据,对数控程序进行修正,能够有效提高加工精度。例如,在加工高精度的模具零件时,采用误差补偿法可以将加工误差控制在极小的范围内,满足模具的高精度要求^[3]。

2.4 误差转移法

(1) 实质及实现途径。误差转移法的实质是将原始误差从误差敏感方向转移到误差不敏感方向,从而减少对加工精度的影响。实现途径主要有两种:一种是通过改变加工工艺或加工方法,将误差转移到对加工精度影响较小的方向;另一种是通过设计特殊的工装夹具,将误差转移到非关键部位。(2) 在机械加工中的应用。在车削加工中,采用镗模加工箱体孔系时,将机床主轴的回转误差转移到镗模夹具上,通过提高镗模的精度来保

证箱体孔系的加工精度。这种方法能够有效降低对机床精度的要求,提高加工效率和加工质量。

2.5 分化或均化原始误差

(1) 分化原始误差(分组)法。分化原始误差(分组)法是将原始误差按其大小分成若干组,使每组误差范围缩小,然后按组分别调整加工,以保证加工精度。这种方法适用于原始误差较大且分散性较大的情况。(2) 均化原始误差法。均化原始误差法是通过相互比较和相互修正,或者利用误差平均的原理,使加工表面的误差不断缩小和平均化。例如,在研磨加工中,通过工件与研磨工具之间的相互研磨,使工件表面的误差得到均化,从而提高加工精度。

3 机械加工检测技术

3.1 测量概念、原理及方法

(1) 直接测量与间接测量。直接测量是通过测量器具直接获取被测几何量数值的方法,具有操作简便、效率高的特点。例如,使用游标卡尺测量工件的长度、宽度,通过卡尺刻度直接读取数据。间接测量则需先测量与被测几何量相关的其他几何量,再通过计算得出被测几何量数值。如通过测量圆的周长,再依据公式计算出直径,这种方法常用于不便直接测量的情况。(2) 组合测量技术。组合测量技术通过对多个与被测参数相关的测量值进行组合,建立测量方程组,进而求解出被测参数。在复杂零件的形位公差检测中,组合测量技术优势显著。它能同时考虑多个因素对测量结果的影响,提高测量的准确性和可靠性,尤其适用于难以通过单一测量方法确定参数的场景。

3.2 测量数据的处理与分析

(1) 概率统计学在测量数据处理中的应用。测量过程中不可避免存在误差,概率统计学为处理测量数据提供了科学方法。通过对大量测量数据进行统计分析,可计算出数据的均值、标准差等特征量,判断数据的分布规律,识别并剔除粗大误差,从而使测量结果更接近真实值,有效提高测量精度。(2) 测量结果的表达方式及准确度和置信度评估。测量结果通常以数值结合单位的形式表达,同时需对其准确度和置信度进行评估。准确度反映测量结果与真实值的接近程度,可通过与标准件比对等方式确定;置信度则表示测量结果的可靠程度,一般通过计算置信区间来量化。清晰准确的测量结果表达与评估,有助于工程师准确判断产品是否合格^[4]。

3.3 先进检测技术的应用

(1) 在线检测技术。在线检测技术可在加工过程中实时对工件进行检测,及时反馈加工质量信息,实现加

工过程的闭环控制。如在数控车削加工中,通过在线检测系统实时测量工件尺寸,一旦发现偏差,立即调整机床参数,避免废品产生,提高加工效率与产品质量。

(2) 偶件自动配模技术。偶件自动配模技术针对相互配合的零件,通过精确测量零件尺寸,自动匹配最佳组合,保证零件间的配合精度。在发动机活塞与缸套的装配中,该技术能大幅提升装配质量,降低因配合不良导致的磨损和泄漏风险,增强设备的可靠性和使用寿命。

(3) 高精度测量仪器的使用与校准。三坐标测量仪、激光干涉仪等高精度测量仪器在机械加工检测中广泛应用。正确使用这些仪器是获取准确测量数据的基础,同时定期校准不可或缺。校准能确保仪器测量精度的稳定性,避免因仪器误差导致的检测失误,为产品质量提供可靠保障。

4 机械加工质量控制与检测实践

4.1 典型机械加工质量控制案例分析

4.1.1 案例背景介绍

某汽车制造企业在生产发动机缸体时,初期因加工精度不足,导致缸体与活塞的配合间隙超差,废品率高达15%,严重影响生产进度与成本控制。缸体的加工涉及多种复杂工序,如镗孔、铣平面等,加工过程中机床振动、刀具磨损以及操作人员技能差异等因素,都对加工精度造成干扰。

4.1.2 质量控制措施及实施效果

企业针对问题实施多项质量控制措施。在过程控制方面,加强操作人员技能培训,引入模拟加工训练提升实操水平;建立设备定期维护与精密校准制度,减少机床振动和传动误差。采用误差补偿法,利用传感器实时监测刀具磨损,通过数控系统自动调整切削参数补偿磨损误差。同时,优化加工工艺,将粗加工和精加工工序分离,减少热变形和内应力对精度的影响。实施这些措施后,缸体废品率降至3%以内,加工精度显著提升,产品性能达到设计标准,生产效率提高20%,有效降低了生产成本。

4.2 机械加工检测技术应用实例

4.2.1 检测任务描述

某精密机械加工厂承接一批高精度齿轮加工订单,客户要求齿轮齿形误差不超过0.01mm,齿距累积误差不超过0.02mm。检测任务需准确测量齿轮各项参数,判断是否符合标准,为后续加工或装配提供依据。

4.2.2 检测方法选择与实施

选择三坐标测量仪进行检测,其高精度探头可精准采集齿轮表面数据。将齿轮固定在测量仪工作台上,设定测量路径和参数,测量仪自动对齿轮的齿形、齿距等关键部位进行扫描测量。同时,运用组合测量技术,通过多次测量不同位置的数据,建立数学模型,确保测量结果的准确性。

4.2.3 检测结果分析与改进建议

检测发现部分齿轮齿形误差达到0.012mm,超出标准。经分析,主要原因是滚齿加工时刀具磨损及机床传动链误差。建议加强刀具监控,及时更换磨损刀具;对机床传动链进行误差补偿和优化调整;在加工过程中采用在线检测技术,实时监控加工精度,发现偏差及时修正,从而提升齿轮加工质量,满足客户要求。

结束语

综上所述,机械加工质量控制与检测是提高产品质量、降低生产成本、增强企业竞争力的重要途径。通过采用先进的质量控制技术和高精度的检测技术,能有效应对机械加工中的各种误差和挑战。未来,随着制造业的不断发展和智能化水平的提升,机械加工质量控制与检测将迎来更多创新和应用,为制造业的高质量发展注入强大动力。

参考文献

- [1]刘涛.制造加工技术中心质量因素与控制策略分析[J].农机使用与维修,2023,(05):50-51.
- [2]许新伟.机械加工工艺技术的误差及控制策略[J].设备管理与维修,2021,(16):136-137.
- [3]程海洋.机械加工工艺对零件加工精度影响及质量控制措施[J].模具制造,2025,(12):133-134.
- [4]徐盛.机械制造中数控加工的质量控制与优化策略[J].模具制造,2024,(05):55-56.