

精密加工技术在机械制造中的应用探究

刘 迎 徐卫东

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘 要: 在科技迅猛发展的今天, 机械制造行业正朝着高精度、高性能、高可靠性方向大步迈进。本文聚焦于精密加工技术在机械制造中的应用。先对精密加工技术进行概述, 详细阐述了超精密车削、精密磨削、激光加工、微细加工、精密装配等技术在机械制造中的具体应用。同时, 深入剖析了精密加工技术应用时面临的设备成本高、工艺复杂、刀具材料及涂层技术不足、存在振动和热变形、检测技术滞后等挑战, 并针对性地提出了加强设备研发投入、优化工艺、研发新型刀具材料和涂层、采用减振和热变形控制技术、发展先进检测技术等对策建议, 为机械制造中精密加工技术的应用提供参考。

关键词: 精密加工技术; 机械制造; 应用探究

引言: 在现代机械制造领域, 精度对于产品质量和性能起着决定性作用。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, 精密加工技术应运而生并不断发展。它不仅能够满足高端制造业对零部件高精度的需求, 还推动着机械制造向更高水平迈进。然而, 在精密加工技术的应用过程中, 仍面临着诸多挑战。深入探究精密加工技术在机械制造中的应用, 分析其面临的问题并寻找解决对策, 对于提升机械制造行业的整体水平具有重要的现实意义。

1 精密加工技术概述

精密加工技术作为现代制造业中的关键技术, 致力于实现极高的加工精度和表面质量。其加工精度通常可达微米级甚至纳米级, 远远超越了传统加工手段所能达到的水平。该技术具备高精度、高表面质量以及高效率等显著特点。在高精度方面, 能够严格把控尺寸精度、形状精度和位置精度, 确保零件的各项指标符合极为严苛的标准。高表面质量则体现在加工后的零件表面几乎不存在瑕疵, 粗糙度极低, 可有效减少摩擦、提高零件的耐磨性与疲劳强度。同时, 随着技术的不断革新, 精密加工技术在保证高精度和高表面质量的前提下, 加工效率也逐步提升, 能够满足大规模生产的需求。精密加工技术涵盖了超精密车削、精密磨削、激光加工、微细加工、精密装配等多种工艺方法。每种工艺都有其独特的优势和适用场景, 它们相互补充、协同发展, 共同推动着机械制造行业向高精度、高性能方向不断前进, 为航空航天、电子信息、医疗器械等众多高端领域提供了坚实的技术支撑^[1]。

2 精密加工技术在机械制造中的应用

2.1 超精密车削技术

超精密车削技术凭借极高的加工精度, 在光学元件制造领域发挥着关键作用。例如, 制造高精度的反射镜、透镜等光学零件时, 通过超精密车削能够精准控制表面粗糙度与形状精度, 确保光线在元件表面实现理想反射与折射, 满足光学系统对成像质量的严苛要求。在航空航天领域, 超精密车削可用于加工航空发动机的叶片、轴类零件等。这些零件需承受高温、高压与高速运转, 超精密车削加工出的高精度表面能有效降低零件间摩擦, 提升发动机效率与可靠性。同时, 在电子信息产业, 对于硬盘盘片等高精度零部件, 超精密车削能够实现纳米级精度的尺寸控制与表面质量优化, 保障数据存储与读取的准确性和稳定性。

2.2 精密磨削技术

精密磨削技术广泛应用于机械制造的多个环节。在模具制造行业, 模具表面的精度与光洁度直接影响塑料制品、金属制品的成型质量。精密磨削可将模具表面粗糙度降低至 $Ra0.01\mu m$ 以下, 保证模具尺寸精度在微米级, 从而使生产出的产品具有良好的外观与尺寸精度。在汽车制造中, 发动机的曲轴、凸轮轴等关键零部件经精密磨削加工, 能提升轴颈表面的硬度与耐磨性, 确保发动机运转平稳, 延长发动机使用寿命。此外, 精密磨削还常用于加工各类量具, 如千分尺、卡尺的测量面, 通过精确控制尺寸精度与表面平整度, 保障量具测量的准确性, 为机械制造的质量控制提供可靠依据。

2.3 激光加工技术

激光加工技术在机械制造中展现出独特优势。在微加工领域, 如制造微小的电子元件、传感器等, 激光束可聚焦至微米甚至纳米级光斑, 实现高精度的打孔、切割与刻蚀。其非接触式加工方式避免了对工件的机械损

伤,能加工出复杂精细的结构。在金属材料加工方面,激光焊接广泛应用于汽车车身制造,可实现不同厚度、材质金属板的高质量连接,焊缝强度高、变形小,提升车身整体强度与安全性。激光表面处理则能改善金属表面性能,如提高表面硬度、耐磨性与耐腐蚀性,应用于机械零件的表面强化,延长零件使用寿命。同时,激光快速成型技术可根据三维模型快速制造出复杂形状的零件原型,加速产品研发进程。

2.4 微细加工技术

微细加工技术在微电子机械系统(MEMS)制造中至关重要。通过光刻、蚀刻等微细加工工艺,可在硅片等基片上制造出尺寸微小、功能复杂的微机械结构,如微传感器、微执行器等。这些微器件广泛应用于智能手机的加速度计、陀螺仪,实现手机的运动检测与姿态控制。在生物医疗领域,微细加工技术用于制造微流控芯片,可精确操控微小体积的生物流体,实现生物样品的分离、检测与分析,助力疾病诊断与药物研发。在光学领域,微细加工可制造出高精度的微光学元件,如微透镜阵列,应用于成像系统、光通信等,提升光学系统的性能与集成度。

2.5 精密装配技术

精密装配技术是保障高端机械产品性能的关键环节。在航空发动机装配中,发动机内部众多零部件的装配精度直接影响发动机的动力输出与可靠性。通过精密装配技术,运用高精度的定位与调整设备,可将叶片、涡轮盘等零件装配至微米级精度,确保发动机运转时各部件协同工作良好。在高端数控机床装配中,精密装配能保证机床各坐标轴的定位精度与运动精度,实现机床对复杂零件的高精度加工。在电子设备制造中,如手机、电脑的主板装配,精密装配技术确保微小电子元件准确安装,保障电子设备的电气性能与稳定性,提高产品合格率与使用寿命^[2]。

3 精密加工技术应用面临的挑战及对策

3.1 面临的挑战

3.1.1 设备成本高

精密加工对设备的精度、稳定性要求极高,需配备高端的数控系统、精密传动装置以及高精度的主轴等核心部件。这些先进设备的研发与制造工艺复杂,涉及众多前沿技术,导致设备制造成本高昂。同时,为保证设备长期稳定运行,日常维护需专业技术人员与专用检测仪器,消耗特殊的维护材料,进一步增加了维护成本。此外,设备更新换代快,为紧跟技术发展,企业需频繁更换设备,投入大量资金,这对许多企业,尤其是中小

企业而言,是沉重的经济负担,限制了精密加工技术的广泛应用。

3.1.2 加工工艺复杂

精密加工的工艺路线规划极为复杂,需综合考虑材料特性、加工精度要求、表面质量标准以及加工效率等多方面因素。不同材料在切削力、热传导性等方面表现各异,需针对性地调整加工参数,如切削速度、进给量和切削深度等。而且,加工过程中各工序间相互影响大,任何一个环节出现偏差,都可能导致最终产品精度与质量不达标。例如,超精密车削时刀具路径的规划,不仅要精确控制刀具的运动轨迹,还需考虑切削力引起的工件变形,以及切削热对加工精度的影响,使得工艺设计与优化难度大幅增加。

3.1.3 刀具材料和涂层技术有待提高

在精密加工中,刀具需承受极高的切削温度和压力,现有的刀具材料在硬度、耐磨性和高温稳定性等方面存在局限。例如,传统硬质合金刀具在加工高硬度材料时,易出现磨损加剧、刀具寿命缩短的问题。同时,刀具涂层技术虽能一定程度改善刀具性能,但涂层与基体的结合强度不够理想,在高速、重载切削条件下,涂层易脱落,失去保护刀具和提高加工质量的作用。而且,针对不同加工材料和工艺要求,缺乏具有针对性的高性能刀具材料和涂层体系,限制了精密加工技术在更多领域的应用拓展。

3.1.4 加工过程中的振动和热变形

精密加工过程中,切削力、机床部件运动等因素易引发振动。振动不仅会降低零件的加工精度,导致表面粗糙度增加,还可能造成刀具破损,影响加工的连续性和稳定性。同时,切削热是精密加工的另一大难题,切削过程中产生的大量热量会使工件和刀具温度急剧升高,引发热变形。工件热变形会导致尺寸精度和形状精度偏差,刀具热变形则会影响刀具的切削刃形状和切削参数,进一步降低加工精度。由于精密加工对精度要求极高,微小的振动和热变形都可能使产品报废,严重制约了加工质量和效率的提升。

3.1.5 检测技术相对滞后

精密加工对检测技术的精度和效率要求极高,然而目前检测技术相对滞后。传统检测手段在检测微小尺寸、复杂形状零件时,精度难以满足精密加工的需求,且检测速度慢,无法实现实时在线检测。新兴的检测技术,如原子力显微镜、扫描电子显微镜等虽具有高分辨率,但设备昂贵、操作复杂,难以在生产现场广泛应用。此外,检测数据的处理与分析技术也不够成熟,无

法快速准确地为加工过程提供反馈,导致加工过程中一旦出现质量问题,难以及时发现并纠正,影响产品质量和效率^[3]。

3.2 对策建议

3.2.1 加强设备研发投入

政府与企业应加大对精密加工设备研发的资金支持。鼓励高校、科研机构与企业联合开展产学研合作项目,集中优势资源攻克设备核心技术难题,如研发更精密、稳定且成本可控的数控系统与传动装置。企业自身也要设立专项研发资金,持续改进设备性能。同时,利用大数据、人工智能等先进技术优化设备设计与制造流程,提高研发效率。通过长期稳定的投入,逐步降低设备研发与制造成本,提升设备质量与稳定性,使精密加工设备更具性价比,促进其在企业中的广泛应用。

3.2.2 优化加工工艺

组建专业的工艺研发团队,深入研究不同材料在精密加工中的特性,构建全面的材料加工工艺数据库。运用仿真软件对加工过程进行模拟分析,提前预测并优化加工参数与工艺路线,降低因参数不合理导致的加工误差。在实际生产中,引入精益生产理念,对各加工工序进行精细化管理,严格把控工序间的衔接,减少人为因素与系统误差对加工精度的影响。定期组织工艺交流活动,鼓励技术人员分享经验,共同探索新工艺、新方法,不断优化加工工艺,提高加工效率与产品质量。

3.2.3 研发新型刀具材料和涂层技术

科研机构与企业应加大研发力度,探索新型刀具材料,如纳米复合材料、陶瓷基复合材料等,提升刀具的硬度、耐磨性与高温稳定性。采用先进的材料制备工艺,改善刀具材料内部组织结构,增强其综合性能。同时,针对不同加工需求,研发具有高结合强度、特殊功能的刀具涂层技术,如多层复合涂层、自润滑涂层等。利用分子束外延、物理气相沉积等先进涂层制备技术,提高涂层质量与均匀性。通过持续研发,构建完善的刀具材料与涂层体系,满足精密加工多样化的需求。

3.2.4 采用减振和热变形控制技术

在机床设计阶段,采用优化的结构设计与隔振技

术,如使用减振垫、阻尼器等减少机床部件运动产生的振动。安装高精度的振动监测系统,实时监测加工过程中的振动情况,一旦振动超标,自动调整加工参数或启动减振装置。针对热变形问题,研发高效的冷却系统,如微量润滑冷却、液氮冷却等,降低切削热对工件与刀具的影响。运用热误差补偿技术,通过建立热变形数学模型,实时补偿因热变形产生的误差。在加工过程中,合理安排加工顺序,减少热累积,有效控制振动与热变形,提升加工精度。

3.2.5 发展先进的检测技术

加大对先进检测技术的研发投入,推动传统检测技术的升级改进,提高其检测精度与速度,实现对微小尺寸、复杂形状零件的高效检测。加快新兴检测技术的产业化应用进程,降低设备成本,简化操作流程,使其更适用于生产现场。研发智能化的检测数据处理与分析软件,利用机器学习、深度学习算法对检测数据进行实时分析,快速准确地判断产品质量状况,并为加工过程提供反馈,及时调整加工参数,纠正质量问题。构建完善的检测体系,确保精密加工产品质量的稳定性与可靠性^[4]。

结束语

精密加工技术已深度融入机械制造各环节,从光学元件的超精密车削,到高端设备的精密装配,极大提升了产品质量与性能,有力推动了行业发展。然而,它仍面临设备成本高昂、工艺复杂等难题。但随着科研投入增加、技术持续创新,未来精密加工技术有望突破瓶颈,实现更高效、精准的加工。

参考文献

- [1]刘钰炜.数控高速切削加工技术在机械制造中的应用[J].技术与市场,2022,(02):96-97
- [2]侯瑞丽.现代加工技术在农业机械制造中的应用[J].南方农机,2022,(02):75-77.
- [3]张务谨.现代机械制造工艺及精密加工技术应用研究[J].内燃机与配件,2022,(01):181-183.
- [4]蒯超,冯梅,刘芳,等.探究现代机械制造工艺与精密加工技术[J].内燃机与配件,2021,(24):209-211.