

基于机械加工的精密零件装配优化研究

吕 斌 徐明显

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：随着制造业迈向高端精细新征程，在机械加工领域，精密零件装配质量至关重要。本文聚焦于基于机械加工的精密零件装配优化研究。首先阐述了精密零件装配优化的重要性，包括提升产品性能与质量、降低生产成本以及增强企业竞争力。接着分析了装配过程中的影响因素，如切削力、热变形、夹具定位误差等。最后提出一系列优化方法，涵盖刀具优化、夹具设计优化、装配顺序优化、温湿度控制优化以及引入传感器和控制系统反馈控制等方面，旨在为提高精密零件装配质量与效率提供理论支持与实践指导。

关键词：基于机械加工；精密零件；装配优化

引言：在现代制造业中，机械加工的精密零件装配是产品制造的关键环节，其质量直接影响产品的整体性能与可靠性。随着科技的不断进步，各行业对产品的精度和性能要求日益严苛，传统装配方式已难以满足需求。精密零件装配涉及多个复杂因素，从机械加工过程到装配环境，任何细微变化都可能影响最终产品质量。因此，开展基于机械加工的精密零件装配优化研究迫在眉睫。通过深入研究装配过程中的影响因素并探索有效的优化方法，有助于提高装配精度、降低成本，提升企业在市场中的竞争力。

1 基于机械加工的精密零件装配优化的重要性

1.1 提高产品性能与质量

精密零件装配的优化对提高产品性能与质量起着决定性作用。精确的装配能确保各零件之间的配合精度达到最佳状态，减少因装配误差导致的摩擦、振动等问题，从而提升产品的运行平稳性和可靠性。优化装配过程还能避免零件在装配过程中受到不必要的损伤，保证零件的完整性和性能稳定性。例如，在航空航天领域，精密零件的精准装配直接关系到飞行器的飞行安全和性能表现，优化装配可显著提高其可靠性和使用寿命，为高端制造业的发展提供坚实保障。

1.2 降低生产成本

基于机械加工的精密零件装配优化能够有效降低生产成本。一方面，通过优化装配工艺和流程，减少装配过程中的重复操作和返工现象，提高装配效率，缩短生产周期，从而降低人力和时间成本。另一方面，精确的装配可以减少零件的磨损和损坏，延长零件和产品的使用寿命，降低维修和更换成本。此外，优化装配还能提高原材料的利用率，减少浪费，进一步降低生产成本，提升企业的经济效益，使企业在市场竞争中具备更强的

价格优势。

1.3 增强企业竞争力

在全球化市场竞争日益激烈的今天，企业竞争力的高低取决于产品品质、成本和创新能力等多方面因素。基于机械加工的精密零件装配优化能够全面提升企业的综合实力，增强企业竞争力。高品质的产品是企业赢得市场的关键，优化装配可提高产品质量，满足客户对高性能产品的需求。降低生产成本则使企业能够以更具竞争力的价格参与市场竞争，扩大市场份额。同时，装配优化过程也促进了企业技术创新和管理创新，提升企业的整体运营水平，为企业的长远发展奠定坚实基础^[1]。

2 基于机械加工的精密零件装配过程中的影响因素

2.1 机械加工过程中的切削力和热变形

机械加工时，切削力作用于零件，会使其产生弹性变形和塑性变形。弹性变形在切削力去除后可能部分恢复，但塑性变形会导致零件尺寸和形状发生永久改变，影响装配精度。同时，切削过程中产生的热量会使零件温度升高，引发热变形。不同材料热膨胀系数不同，热变形程度也有差异。而且，热量传递不均匀还会造成零件内部应力分布不均，进一步影响尺寸稳定性。因此，控制切削力和热变形是保证精密零件装配质量的重要环节。

2.2 夹具定位误差

夹具是机械加工和装配中用于固定零件的重要工具，其定位误差会直接传递到零件上，影响装配精度。夹具定位元件的制造误差、磨损以及安装不当等，都会导致定位不准确。例如，定位销与零件孔的配合间隙过大，会使零件在夹具上的位置发生偏移；夹具基准面不平整，也会使零件定位出现偏差。此外，夹具的刚性不足，在加工或装配过程中产生变形，同样会引入定位误差。因此，提高夹具的制造精度、加强维护保养和合理

设计夹具结构至关重要。

2.3 装配顺序

装配顺序对精密零件的装配质量有着显著影响。合理的装配顺序能够保证零件之间的配合精度，减少装配应力，提高装配效率。如果装配顺序不当，可能会导致已装配好的零件在后续装配过程中受到干扰或损坏，增加装配难度和返工率。例如，先装配刚性较大的零件，再装配刚性较小的零件，可以避免刚性小的零件因受力过大而变形；对于有配合要求的零件，应按照先难后易的原则进行装配，确保关键部位的配合精度。因此，制定科学合理的装配顺序是精密零件装配的重要环节。

2.4 材料物理性质

材料的物理性质，如硬度、弹性模量、热膨胀系数等，对精密零件装配有着重要影响。不同材料的物理性质差异会导致在相同的外力作用下产生不同的变形情况。例如，硬度低的材料在装配过程中更容易产生划痕和变形，影响装配表面质量；弹性模量小的材料在受力时变形较大，可能会影响零件之间的配合间隙；热膨胀系数不同的材料在温度变化时会产生不同的热变形量，导致装配后的零件出现松动或卡死现象。因此，在选择装配材料时，需要充分考虑其物理性质，确保材料之间的相容性和装配的稳定性。

2.5 环境温湿度

环境温湿度是影响精密零件装配精度的重要因素之一。温度变化会引起零件和夹具的热胀冷缩，导致尺寸发生变化。在高温环境下，零件会膨胀，配合间隙变小；在低温环境下，零件会收缩，配合间隙变大。湿度过高会使零件表面生锈、腐蚀，影响装配表面质量，还可能导致一些吸湿性材料吸湿膨胀，改变零件尺寸。此外，温湿度的波动还会引起空气湿度的变化，使零件表面产生冷凝水，影响装配操作的准确性和零件的电气性能。因此，控制装配环境的温湿度在合适范围内，对于保证精密零件装配质量至关重要^[2]。

3 基于机械加工的精密零件装配优化方法

3.1 刀具优化

3.1.1 刀具材料选择

刀具材料的选择至关重要，它需具备高硬度、高耐磨性、良好的韧性和耐热性等特性。硬质合金刀具硬度高、耐磨性好，适用于大多数常规材料的加工；陶瓷刀具耐热性和化学稳定性佳，在高速切削硬材料时表现出色；立方氮化硼刀具硬度极高，能高效加工高硬度合金钢等难加工材料；金刚石刀具则适合加工有色金属和非金属材料，可获得极佳的表面质量。根据加工材料和工

艺要求合理选择刀具材料，可提高加工精度和效率，减少刀具磨损对零件尺寸的影响。

3.1.2 刀具几何形状设计

刀具几何形状设计直接影响切削力和切削热的产生与分布。合理的前角可减小切削变形和切削力，降低切削温度；后角能减少刀具后刀面与工件间的摩擦，提高刀具耐用度和工件表面质量；主偏角和副偏角影响切削分力和残留面积高度，进而影响表面粗糙度。此外，刀尖圆弧半径的设计也很关键，它可增强刀尖强度，改善散热条件。通过优化刀具几何形状，可有效控制切削过程，提高零件加工精度，减少因切削问题导致的装配误差。

3.1.3 刀具涂层技术

刀具涂层技术是在刀具表面涂覆一层或多层特殊材料，以改善刀具性能。常见的涂层材料有碳化钛、氮化钛、氧化铝等。涂层可提高刀具的硬度、耐磨性和耐热性，减少刀具与工件间的摩擦和粘结，降低切削温度。例如，氮化钛涂层刀具有良好的耐磨性和较低的摩擦系数，能显著提高刀具使用寿命和加工表面质量；碳化钛涂层刀具则更适合高速切削。采用合适的刀具涂层技术，可提升刀具的综合性能，保证零件加工尺寸的稳定性，为精密零件装配提供高质量的零件。

3.2 夹具设计优化

3.2.1 夹具结构设计

合理的夹具结构设计需综合考虑零件形状、尺寸、加工工艺等因素。应确保夹具具有足够的刚性和强度，以承受加工过程中的切削力、夹紧力等，避免产生变形影响零件精度。同时，结构设计要力求简洁，减少不必要的部件，降低制造成本和装配难度。例如，采用模块化设计，可根据不同零件快速更换模块，提高夹具的通用性和灵活性。此外，还要考虑夹具的操作便捷性，方便工人装卸零件，提高生产效率。

3.2.2 夹具定位设计

夹具定位设计是保证零件加工和装配精度的核心。要根据零件的加工要求和定位基准，合理选择定位元件和定位方式。定位元件的精度直接影响零件的定位精度，应选用高精度、耐磨的定位元件，并定期进行检测和维护。定位方式要遵循“六点定位原理”，合理分布定位点，避免过定位或欠定位。对于复杂形状零件，可采用组合定位方式，提高定位的准确性和稳定性。同时，要考虑定位元件与零件之间的配合间隙，确保定位可靠，减少装配误差。

3.3 装配顺序优化

3.3.1 简单部件优先装配

简单部件优先装配是优化装配顺序的重要原则之一。简单部件通常结构单一、装配难度低，先完成它们的装配可以为后续复杂部件的装配提供稳定的支撑和准确的定位基准。例如在机械设备的装配中，先装配好底座、支架等基础部件，能构建出一个稳固的装配框架。这样在安装其他部件时，可依据已装好的简单部件进行精准定位，减少因基准不稳定而产生的装配误差。而且，简单部件优先装配可以快速完成一部分装配工作，让装配人员熟悉装配流程和环境，为后续复杂部件的装配积累经验，提高整体装配效率和质量。

3.3.2 复杂部件合理装配

复杂部件合理装配需要综合考虑多方面因素。首先要对复杂部件的结构和装配关系进行深入分析，明确各零件之间的配合要求和装配顺序。对于有多个子部件组成的复杂部件，可采用分层装配的方法，先完成内部子部件的装配，再进行整体组装。在装配过程中，要注意控制装配应力，避免因过度用力或装配方法不当导致零件变形或损坏。例如在装配高精度的传动部件时，要使用专用的装配工具，按照规定的扭矩和顺序进行装配，确保各零件之间的配合间隙和传动精度。同时，要合理安排装配工序，将相互关联的装配环节紧密衔接，减少中间环节的等待时间，提高装配效率。

3.4 温湿度控制优化

3.4.1 温度控制

温度变化会引起零件和夹具的热胀冷缩，进而改变零件尺寸和配合间隙。为优化温度控制，可在装配车间安装空调系统，根据不同季节和工艺要求，将温度稳定在合适范围，如20°C-25°C。对于高精度装配区域，可采用恒温恒湿设备，实现更精确的温度调控。同时，要减少车间内的热源，如避免大型设备集中放置，合理安排生产流程，降低设备运行产生的热量对环境温度的影响。此外，对温度敏感的零件，可在装配前进行预处理，使其温度与环境温度一致，减少装配时的热应力。

3.4.2 湿度控制

湿度过高会使零件表面生锈、腐蚀，影响装配表面质量，还可能导致吸湿性材料膨胀变形。优化湿度控制，可在车间配备除湿设备，将相对湿度控制在40%-60%的适宜范围。加强车间的密封性，减少外界湿空气的进入，定期检查和维护除湿设备，确保其正常运行。对

于易受潮的零件，要采用防潮包装，在装配前进行干燥处理。同时，保持车间地面干燥，及时清理积水，避免因湿度不均导致零件局部受潮。通过有效的湿度控制，可保障零件质量，提高装配的稳定性和可靠性。

3.5 引入传感器和控制系统反馈控制

在基于机械加工的精密零件装配中，引入传感器和控制系统反馈控制是提升装配质量与效率的关键优化手段。（1）传感器如同装配过程的“眼睛”，可实时监测多种关键参数。例如，位移传感器能精准测量零件的装配位置和移动距离，确保装配尺寸符合设计要求；力传感器可感知装配过程中的夹紧力、插入力等，避免因用力不当导致零件损坏或装配不紧密；温度传感器则能实时监控环境与零件温度，防止热变形影响装配精度。（2）控制系统作为“大脑”，接收传感器传来的数据并进行分析处理。一旦检测到参数偏离设定范围，会立即发出指令调整装配动作。比如，当位移偏差过大时，控制系统可指挥机械装置微调零件位置；若力值异常，能及时减小或增大作用力。通过这种实时的反馈控制，实现了装配过程的动态优化，有效减少了人为误差和随机因素的影响，显著提高了精密零件装配的准确性和稳定性，保障了产品的高质量生产^[3]。

结束语

通过对基于机械加工的精密零件装配优化展开深入研究，我们明确了刀具、夹具、装配顺序、温湿度等关键因素对装配质量的影响，并针对性地提出了优化方法。引入传感器和控制系统反馈控制，更是为装配过程装上了“智慧大脑”，实现了动态精准调控。这些优化策略有效提升了装配精度与效率，降低了废品率与生产成本。然而，精密零件装配领域仍有许多未知等待探索。未来，我们需持续创新，融合新兴技术，不断完善优化体系，以适应日益严苛的工业需求，推动我国制造业向更高精度、更高质量的方向蓬勃发展。

参考文献

- [1] 诸进才,胡艳娥.精密孔系零件数控加工精度原位修正方法研究[J].机械设计与制造,2023(6):172-175.
- [2] 鲁宇明,史册,黎明,等.基于改进MOEAD算法的零件加工布局优化研究[J].机械设计,2021,38(5):8.
- [3] 刘燕萍.冲压模具在机械零件精密加工中的使用研究[J].科技创新与应用,2021(8):3.